

**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

CRISTINE OLIVIA CHINELATO

**ESTUDO DE ALTERNATIVAS LOCACIONAIS E APLICAÇÃO DE CRITÉRIOS
AMBIENTAIS NA IMPLANTAÇÃO DE BARRAMENTO PARA FINS DE
ABASTECIMENTO PÚBLICO NO MUNICÍPIO DE FLORES DA CUNHA - RS**

**CAXIAS DO SUL
2024**

CRISTINE OLIVIA CHINELATO

**ESTUDO DE ALTERNATIVAS LOCACIONAIS E APLICAÇÃO DE CRITÉRIOS
AMBIENTAIS NA IMPLANTAÇÃO DE BARRAMENTO PARA FINS DE
ABASTECIMENTO PÚBLICO NO MUNICÍPIO DE FLORES DA CUNHA - RS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Ambiental da Universidade de Caxias do Sul
como requisito parcial para obtenção do título
de bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof.: Dr. Juliano Rodrigues
Gimenez

CAXIAS DO SUL

2024

CRISTINE OLIVIA CHINELATO

**ESTUDO DE ALTERNATIVAS LOCACIONAIS E APLICAÇÃO DE CRITÉRIOS
AMBIENTAIS NA IMPLANTAÇÃO DE BARRAMENTO PARA FINS DE
ABASTECIMENTO PÚBLICO NO MUNICÍPIO DE FLORES DA CUNHA - RS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Ambiental da Universidade de Caxias do Sul
como requisito parcial para obtenção do título
de bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof.: Dr. Juliano Rodrigues
Gimenez

Aprovado em: __/__/____

Banca Examinadora

Orientador Prof. Dr. Juliano Rodrigues Gimenez
Universidade de Caxias do Sul

Prof. Dr. Tiago Panizzon
Universidade de Caxias do Sul

Prof^a. Dra. Renata Cornelli
Universidade de Caxias do Sul

CAXIAS DO SUL

2024

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos a todos que contribuíram diretamente para o sucesso deste trabalho.

Primeiramente, sou imensamente grata ao meu orientador, Juliano Rodrigues Gimenez, cuja orientação sábia e apoio constante foram fundamentais para guiar este trabalho desde o seu início até a sua conclusão. Sua expertise, paciência e incentivo foram cruciais para meu crescimento acadêmico e profissional.

Agradeço também ao professor Tiago Panizzon, pela sugestão da temática e por dedicar seu tempo e expertise para avaliar este trabalho e proporcionar valiosas melhorias que contribuíram significativamente para sua versão final. Expresso minha gratidão também à professora Gisele Cemin pelo suporte prestado desde a concepção deste projeto, contribuindo para a elaboração dos mapas e o esclarecimento de questões relacionadas ao georreferenciamento.

Dedico todo e qualquer sucesso meu aos meus pais, que me fizeram chegar aqui pela sôbra e com muita água fresca. Um agradecimento especial ao meu pai, Renato, que pagou minha graduação e fez grandes sacrifícios para que eu pudesse alcançar meus objetivos.

Um agradecimento especial ao meu namorado, Daniel, que não só me apoiou emocionalmente, mas também contribuiu de forma significativa para minha graduação. Seu suporte incansável, compreensão e incentivo foram fundamentais, auxiliando em momentos decisivos deste trabalho e ao longo de toda a jornada acadêmica.

Gostaria de também expressar meu profundo agradecimento à coordenadora de curso, Renata Cornelli, que, com sua compreensão e apoio incondicional, foi essencial para que eu superasse as dificuldades pessoais que surgiram ao longo da conclusão deste trabalho. Seu apoio foi fundamental para que eu seguisse em frente, e suas palavras de incentivo e empatia me ajudaram a manter o foco nos meus objetivos, mesmo nos momentos mais desafiadores.

A finalização deste trabalho de conclusão de curso marca não apenas o término de uma etapa acadêmica, mas também o início de uma jornada profissional enriquecedora. Minha gratidão a todos que tornaram possível este momento especial em minha jornada acadêmica.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo analisar alternativas locais para implantação de barramento voltado ao abastecimento público no município de Flores da Cunha – RS, com base em critérios ambientais e hidrológicos. A metodologia contempla uma abordagem multicriterial, com aplicação de restrições ambientais e técnicas, como segurança de barragens, características geológicas, uso e cobertura do solo, morfologia fluvial e disponibilidade hídrica. Inicialmente, foram aplicados critérios eliminatórios para identificar os trechos fluviais passíveis de análise. Em seguida, 17 trechos foram avaliados quanto à topografia e morfologia longitudinal, classificando-se seu potencial de acumulação hídrica. Os dois trechos mais promissores foram ampliados para a identificação da seção ideal de implantação da crista do barramento com base em análise geomorfológica. Posteriormente, foi realizada a caracterização da bacia de contribuição do ponto selecionado, a escolha da estação fluviométrica representativa e a obtenção de séries históricas de vazão. A partir desses dados, aplicou-se a regionalização de vazões médias mensais, respeitando-se um fluxo ecológico mínimo de 20%. Por fim, comparou-se a disponibilidade hídrica com a demanda projetada para o ano de 2103. Os resultados indicam que, sob os critérios adotados, há viabilidade técnica e ambiental para captação no trecho selecionado, respeitando as exigências de conservação hídrica e abastecimento futuro.

Palavras-chave: barramento; abastecimento público; regionalização de vazões; critérios ambientais; Flores da Cunha.

ABSTRACT

This study aimed to define a methodological procedure for identifying hydrologically and environmentally viable locations for the implementation of water supply dams. The area of interest is situated in the municipality of Flores da Cunha, within the Taquari-Antas Hydrographic Basin, Rio Grande do Sul, Brazil. The methodology was structured based on spatial analysis and geoprocessing using a Geographic Information System (GIS), with the application of restrictive criteria derived from technical, environmental, and legal aspects. The analysis included the delimitation of river segments and the evaluation of limiting factors such as topography, geology, pedology, land use, hydrogeology, hydrology, climate, vegetation, and legal restrictions. For each criterion, restriction thresholds were defined and systematized in spatial databases, allowing the generation of thematic maps. The methodology also included the selection of hydrologically relevant stretches and the extraction of longitudinal elevation profiles to classify segments according to their water accumulation potential. From this classification, two stretches with the highest potential were selected, and the section with the greatest morphological suitability was defined to allocate the dam crest. Additionally, a projection of water demand for the year 2103 was developed and compared with the water availability of the selected basin, estimated through regionalization of streamflows and evaluation of environmental flow requirements. The results indicated that the selected stretch met the defined topographic and environmental criteria and that the projected demand was compatible with the available flow, respecting the minimum environmental flow. The methodology enabled the preliminary indication of dam implementation zones and can be adapted to other locations and water resource management contexts.

Keywords: water supply; dams; location criteria; water availability; spatial analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ocorrência de conflitos por água no mundo.	25
Figura 2 - Tipos de fontes de abastecimento de água para consumo humano.	29
Figura 3 - Esquema geral de um sistema de abastecimento de água.	31
Figura 4 – Tipos de mananciais abastecedores.	33
Figura 5 – Captação com torre de tomada.	36
Figura 6 – Captação com sifão.	37
Figura 7 - Objetivos do Plano de Segurança da Água.	38
Figura 8 - Finalidade principal dos barramentos no Brasil.	42
Figura 9 - Componentes de uma barragem.	43
Figura 10 - Tipos de materiais das barragens.	50
Figura 11 - Croqui barragem de concreto gravidade.	51
Figura 12 - Croqui barragem de concreto contraforte.	51
Figura 13 - Croqui barragem concreto em arco.	51
Figura 14 - Croqui barragem concreto gravidade aliviada.	52
Figura 15 - Seção típica de uma barragem de terra homogênea.	54
Figura 16 - Balanço hídrico de regularização.	55
Figura 17 - Esquema de utilização do volume de reservatórios.	56
Figura 18 - Fluxograma da metodologia do estudo.	90
Figura 19 - Caracterização topográfica do perfil longitudinal de uma bacia hidrográfica.	95
Figura 20 - Áreas de Preservação Permanente (APPs), conforme estabelecido na Lei Federal nº 12.651/2012.	97
Figura 21 - Faixa de largura das Áreas de Preservação Permanente (APPs) estabelecida com base nas dimensões dos cursos hídricos e de reservatórios naturais ou artificiais.	98
Figura 22 - Fluxograma metodológico da sequência de análise dos critérios limitantes aplicados à seleção locacional de barramentos.	112
Figura 23 - Mapa de localização da Bacia Taquari-Antas.	115
Figura 24 - Classificação dos rios pela altitude na bacia Taquari-Antas.	117
Figura 25 - Enquadramento do rio principal da bacia Taquari-Antas.	119
Figura 26 - Isoietas médias anuais e precipitação média anual.	120
Figura 27 - Contexto geológico da bacia Taquari-Antas.	121

Figura 28 - Sistemas de aquíferos na bacia Taquari-Antas.	122
Figura 29 - Sub-províncias na área da bacia Taquari-Antas.	123
Figura 30 - Pedologia da bacia Taquari-Antas.	125
Figura 31 - Vegetação da bacia Taquari-Antas.	127
Figura 32 - Mapa de usos no solo na bacia Taquari-Antas.	130
Figura 33 - Localização do município de Flores da Cunha – RS.....	132
Figura 34 – Mapa hidrológico de Flores da Cunha – RS.....	136
Figura 35 – Mapa de hipsometria de Flores da Cunha – RS.....	138
Figura 36 - Mapa de clinografia de Flores da Cunha – RS.	139
Figura 37 – Mapa da classificação climática do município de Flores da Cunha – RS.	140
Figura 38 – Gráfico da variação da precipitação média mensal em Flores da Cunha – RS.	141
Figura 39 – Mapa geológico de Flores da Cunha – RS.....	142
Figura 40 – Mapa dos poços do município de Flores da Cunha – RS.	144
Figura 41 - Mapa pedológico de Flores da Cunha – RS.	152
Figura 42 – Mapa de zoneamento municipal de Flores da Cunha – RS.	153
Figura 43 - Mapa de Áreas de Preservação Permanente de Flores da Cunha – RS.	155
Figura 44 – Mapa da classificação fitogeográfica do município de Flores da Cunha – RS.	156
Figura 45 – Mapa dos trechos fluviais considerados inaptos à implantação de barramentos com base no critério limitante de segurança, conforme diretrizes da Zona de Auto Salvamento (ZAS).....	163
Figura 46 - Mapa dos trechos fluviais considerados inaptos à implantação de barramentos com base no critério limitante geológico-geotécnico.	164
Figura 47 - Mapa dos trechos fluviais considerados inaptos à implantação de barramentos com base no critério limitante de pedologia.	165
Figura 48 – Mapa dos trechos fluviais considerados aptos à implantação de barramentos com base no critério limitante de qualidade de água, conforme diretrizes da CONAMA nº 357/2005.	167
Figura 49 - Mapa dos trechos fluviais considerados inaptos à implantação de barramentos com base no critério limitante de declividade e uso do solo, conforme diretrizes da Lei Federal nº 6.766/1979 e Lei Federal nº 12.651/2012.....	168

Figura 50 - Mapa dos trechos fluviais considerados menos aptos à implantação de barramentos com base no critério limitante climático.	170
Figura 51 – Mapa síntese dos trechos considerados inaptos à implantação de barramentos com base nos critérios ambientais limitantes e dos segmentos selecionados para avaliação da aptidão topográfica e morfologia fluvial.	172
Figura 52 – Perfil longitudinal ampliado do trecho hidrográfico 10.	181
Figura 53 - Perfil longitudinal ampliado do trecho hidrográfico 13.	181
Figura 54 – Perfil longitudinal do trecho selecionado para implantação da crista do barramento, com indicação da cota de coroamento e da extensão da área inundada pelo reservatório.	183
Figura 55 – Mapa da área de drenagem do ponto selecionado.	184
Figura 56 - Mapa de isoietas e localização de estações fluviométricas.	185
Figura 57 – Dados gráficos do fluviograma médio mensal (m^3/s) da estação 86420000 compreendendo período de 01/05/1960 a 30/04/2009.	190
Figura 58 – Dados gráficos do fluviograma da quinta menor média mensal (m^3/s) da estação 86420000 compreendendo o período de 01/01/1960 a 01/12/2024.	190
Figura 59 - Dados gráficos da margem de disponibilidade hídrica (m^3/s) da bacia-alvo para o ano de 2103.	200
Figura 60 – Área de Inundação formada pelo reservatório do barramento na seleção locacional proposta pelo estudo.	202

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Fases do processo decisório.....	45
Quadro 2 - Tipologia de barramentos.....	49
Quadro 3 - Formas de barragens de concreto	50
Quadro 4 - Resumo de fatores ambientais e impactos em obras de barragens.....	59
Quadro 5 - Etapas de estudo para obras de barramento.	74
Quadro 6 - Estudos exigidos para licenciamento ambiental de barragens de grande impacto ambiental.	77
Quadro 7 - Síntese de aspectos legislativos.	79
Quadro 8 - Predileção de critérios para seleção locacional de barramentos.	84
Quadro 9 - Aspectos graduáveis e mapeáveis do ambiente.	87
Quadro 10 – Relação entre morfologia do vale e tipos de barramentos.	96
Quadro 11 – Adequação de tipos de barragens de concreto em função da classe e natureza das rochas de fundação.	101
Quadro 12 – Riscos geológico-geotécnicos.	102
Quadro 13 – Matriz de Definição de Impacto ao Projeto.....	110
Quadro 14 – Resultado da Matriz de Definição de Impacto ao Projeto.....	111
Quadro 15 – Áreas de drenagem de cada estação fluviométrica.....	186

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Vazões de disponibilidade hídrica para outorga de usos consuntivos na bacia hídrica Taquari-Antas.....	118
Tabela 2 - Área ocupada por região fitogeográfica e respectivas áreas protegidas, representadas pelas unidades de conservação.	126
Tabela 3 - Unidades de conservação por região fitogeográfica.	127
Tabela 4 - Usos do solo na bacia Taquari-Antas.....	129
Tabela 5 – Sub-bacias hidrográficas de Flores da Cunha – RS.....	135
Tabela 6 – Especificação dos poços SIAGAS e SIOUT.....	145
Tabela 7 – Estimativa de demanda para abastecimento humano.....	148
Tabela 8 - Usos da água em Flores da Cunha - RS.....	149
Tabela 9 - Projeção populacional para o município de Flores da Cunha - RS (2023 – 2102).	158
Tabela 10 - Estimativa do consumo de água para o município de Flores da Cunha – RS (2023 – 2103).	160
Tabela 11 - Classificação do potencial de acumulação hídrica dos trechos fluviais com base na topografia e morfologia longitudinal do perfil de elevação.	174
Tabela 12 - Estações fluviométricas selecionadas para análise morfométrica da área de drenagem	185
Tabela 13 – Tabela dos resultados compilados dos coeficientes de escala (<i>cm</i>) para a área de drenagem da estação fluviométrica 86420000 com base na série histórica (1960-2024).....	192
Tabela 14 – Tabela dos resultados compilados dos intervalos de confiança (95%) para a área de drenagem da estação fluviométrica 86420000 com base na série histórica (1960-2024).....	193
Tabela 15 - Tabela dos resultados compilados da vazão média mensal regionalizada para a área de drenagem da área de estudo.	194
Tabela 16 - Tabela dos resultados compilados da vazão média mensal disponível para captação com base no método de Richter <i>et al.</i> (2009).	196
Tabela 17 – Tabela dos resultados dos dados de demanda de vazão mensal projetada para 2103.	198
Tabela 18 - Avaliação mensal do balanço hídrico para abastecimento no horizonte de 2103.	200

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a.C.	Antes de Cristo
ABGE	Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental
ABNT	Associação Brasileira De Normas Técnicas
ABRH	Associação Brasileira de Recursos Hídricos
ADASA	Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal
AIA	Avaliação de Impactos Ambientais
ANA	Agência Nacional de águas
ANM	Agência Nacional de Mineração
AP	Autorização Prévia
APP	Área de Preservação Permanente
BEFC	Barragem de Enrocamento com Face de Concreto
CBDB	Comitê Brasileiro de Barragens
CCR	Concreto Compactado a Rolo
CIGB	Comissão Internacional de Grandes Barragens
CNRH	Conselho Nacional dos Recursos Hídricos
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CORSAN	Companhia Riograndense de Saneamento
CPRM	Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais
CRH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
DRH	Departamento de Recursos Hídricos
DPA	Dano Potencial Acionado
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
EPA	United States Environmental Protection Agency
FUNAI	Fundação Nacional dos Povos Indígenas
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
GIRH	Gestão Integrada de Recursos Hídricos
GM	Gabinete do Ministro
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICOLD	Comissão Internacional de Grandes Barragens
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INEA	Instituto Estadual do Ambiente do Rio de Janeiro
ISA	Índice do Uso Sustentável da Água
ISAM	Instituto de Saneamento Ambiental
ISO	International Organization of Standardization
LI	Licença de Instalação
LO	Licença de Operação
LP	Licença Prévia
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MDE	Modelo Digital de Elevação
MMA	Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima
MME	Ministério de Minas e Energia
MS	Ministério da Saúde
NICDS	National Interagency Committee on Dam Safety
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PAE	Plano de Ação e Emergência
PDF	Portable Document Format
PBTA	Plano de Bacia do Taquari-Antas
PERH	Política Estadual de Recursos Hídricos
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PNSB	Política Nacional de Segurança de Barragens
PSA	Plano e Segurança da Água, Plano de Segurança da Água
QGIS	Quantum Geographic Information System
Q ₉₀	Vazão de Referência superada em 90% do tempo
Q ₉₅	Vazão de Referência superada em 95% do tempo
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
RS	Rio Grande do Sul
RSB	Relatório de Segurança de Barragens

SAA	Sistema de abastecimento de água para consumo humano
SAC	Solução alternativa coletiva de água para consumo humano
SAI	Solução alterativa individual de água para consumo humano
SASG	Sistema Aquífero Serra Geral
SEMA	Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura do Estado do Rio Grande do Sul
SIAGAS	Sistema de Informações de Águas Subterrâneas
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SIOUT	Sistema de Outorga de Água do Rio Grande do Sul
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SNISB	Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
UFSM	Universidade Estadual de Santa Maria
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
UNICEF	Fundo das Nações Unidas para a Infância
USA	Estados Unidos da América
VA	Valor Ambiental
VMP	Valor Máximo Permitido
WHO	World Health Organization
XVI	Século dezesseis
XVIII	Século dezoito
XI	Décimo primeiro
XIX	Século dezenove
XX	Século vinte
XXI	Século vinte e um
ZAS	Zona de Auto Salvamento

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	20
2 OBJETIVOS	23
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E ASPECTOS LEGAIS	24
3.1 DESENVOLVIMENTO DA SOCIEDADE RELACIONADO A DEMANDA POR ÁGUA.....	24
3.2 CONSEQUÊNCIAS DAS URBANIZAÇÕES	26
3.3 USOS DA ÁGUA	27
3.3.1 Usos consuntivos	27
3.3.1.1 Abastecimento humano	28
3.3.1.1.1 <i>Sistema de abastecimento de água para consumo humano (SAA)</i>	29
3.3.1.1.2 <i>Solução alternativa coletiva de água para consumo humano (SAC)</i>	30
3.3.1.1.3 <i>Solução alternativa individual de água para consumo humano (SAI)</i>	30
3.3.2 Usos não consuntivos	30
3.4 COMPONENTES DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	30
3.5 MANANCIAL DE ABASTECIMENTO	32
3.6 POTENCIAL HÍDRICO E DEMANDA.....	34
3.7 CAPTAÇÃO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS.....	35
3.7.1 Captação em reservatórios de acumulação	35
3.8 PLANO DE SEGURANÇA DA ÁGUA.....	37
3.9 QUALIDADE DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO.....	38
3.10 ASPECTOS GERAIS E TÉCNICOS DE BARRAGENS.....	40

3.10.1 Evolução de barramentos	40
3.10.2 Conceito de barragens	42
3.10.3 Diretrizes para o desenvolvimento de barragens	46
3.10.4 Tipos de barragens	48
3.10.4.1 Barragens de concreto	50
3.10.4.1.1 Barragens de concreto ciclópico	52
3.10.4.1.2 Barragens de concreto compactado a rolo.....	53
3.10.4.2 Barragens de terra.....	53
3.10.5 Finalidades de barramentos	54
3.10.5.1 Barragens de regularização.....	54
3.10.5.1.1 Barragens para abastecimento de água	55
3.10.5.2 Barragens de contenção ou retenção.....	57
3.11 IMPACTOS AMBIENTAIS DE BARRAMENTOS	57
3.12 ASPECTOS LEGAIS E NORMATIVOS ASSOCIADOS A BARRAMENTOS	61
3.12.1 Lei Federal nº 9.433/1997	62
3.12.2 Planos de bacia hidrográfica	64
3.12.3 Lei Estadual nº 10.350/1994	66
3.12.4 Decreto Estadual nº 54.931/2016	67
3.12.5 Resolução CONAMA nº 357/2005	70
3.12.6 Lei Federal nº 12.334/2010	72
3.13 ESTUDOS E FASES DE DESENVOLVIMENTO DE PROJETO DE BARRAMENTO	73
3.14 LICENCIAMENTO AMBIENTAL	75
3.15 INTERVENÇÕES EM ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE	77
3.16 SÍNTESE DE ASPECTOS LEGISLATIVOS	79
3.17 SELEÇÃO LOCACIONAL DE BARRAMENTOS	83
3.17.1 Estabelecimento do conjunto de critérios de seleção locacional	84

4 METODOLOGIA	88
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA E SUB-BACIAS DE ESTUDO	91
4.2 PROJEÇÃO POPULACIONAL	92
4.3 PROJEÇÃO DO VOLUME NECESSÁRIO PARA ABASTECIMENTO	92
4.4 ESTABELECIMENTO DO CONJUNTO DE CRITÉRIOS DE SELEÇÃO LOCACIONAL.....	93
4.4.1 Segurança de Barragens	94
4.4.2 Topografia.....	94
4.4.3 Áreas de Preservação Permanente e Vegetação.....	96
4.4.4 Vegetação	98
4.4.5 Qualidade de água	100
4.4.6 Condições geológico-geotécnicas	101
4.4.7 Pedologia	103
4.4.8 Uso do Solo	104
4.4.9 Recursos hídricos subterrâneos	105
4.4.10 Clima	106
4.4.11 Condições Hidrológicas	106
4.5 REGIONALIZAÇÃO HIDROLÓGICA.....	107
4.6 PREDILEÇÃO DE CRITÉRIOS DE SELEÇÃO LOCACIONAL UTILIZANDOMATRIZ DE DEFINIÇÃO DE IMPACTO	108
4.6.1 Matriz de Definição de Impacto.....	109
4.6.2 Predileção de Critérios Ambientais de Seleção Locacional.....	111
4.7 ANÁLISE COM FERRAMENTA DE SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG) E ESCOLHA PRELIMINAR DE TRECHOS APTOS	113
5 RESULTADOS.....	114
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA TAQUARI-ANTAS.....	114

5.1.1 Hidrografia	115
5.1.2 Hidrologia	117
5.1.3 Qualidade de água	118
5.1.4 Topografia.....	119
5.1.5 Climatografia	119
5.1.6 Geologia.....	121
5.1.7 Hidrogeologia	122
5.1.8 Geomorfologia.....	123
5.1.9 Pedologia	124
5.1.10 Vegetação	126
5.1.11 Uso do solo.....	128
5.1.12 População	130
5.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	131
5.2.1 Município de Flores da Cunha - RS	131
5.2.1.1 Formação Municipal	132
5.2.2 Ocupação territorial do município	133
5.2.3 Recursos hídricos superficiais	134
5.2.4 Hipsometria	137
5.2.5 Clinografia	138
5.2.6 Climatologia.....	140
5.2.7 Geologia.....	141
5.2.8 Recursos hídricos subterrâneos	143
5.2.9 Usos da água	148
5.2.9.1 Abastecimento humano	148
5.2.9.2 Outros usos para abastecimento	149
5.2.9.3 Consumo e disponibilidade de água no município.....	149
5.2.10 Geomorfologia.....	150

5.2.11 Pedologia	151
5.2.12 Uso e ocupação do solo	152
5.2.12.1 Áreas de preservação ambiental	153
5.2.13 Vegetação	155
5.2.14 População	157
5.3 PROJEÇÃO POPULACIONAL E PROJEÇÃO DA CAPTAÇÃO DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO	157
5.3.1 Projeção populacional de Flores da Cunha - RS.....	158
5.3.2 Projeção de demanda de água para abastecimento humano	159
5.3.3 Identificação de alternativas de fontes hídricas para a captação de água.....	161
5.4 RESULTADOS DOS CRITÉRIOS LIMITANTES DE SELEÇÃO LOCACIONAL	162
5.4.1 Segurança de Barragens	162
5.4.2 Condições Geológico-Geotécnicas	163
5.4.3 Pedologia	165
5.4.4 Qualidade de Água	166
5.4.5 Áreas de Preservação Permanente, Uso do Solo e Vegetação	167
5.4.6 Hidrogeologia	169
5.4.7 Climatologia.....	169
5.4.8 Topografia e Morfologia do rio.....	170
5.4.9 Condições Hidrológicas	183
5.4.9.1 Seleção da estação fluviométrica	184
5.4.9.2 Obtenção de séries históricas de vazão diária	188
5.4.9.3 Vazão média mensal da estação fluviométrica.....	189
5.4.9.4 Método Ponto Único de Índice de Cheia para estimativa de vazão média em bacias sem dados.....	191
5.4.9.5 Fluxo ecológico mínimo	195

5.4.9.6 Vazão disponível para captação.....	196
5.4.9.7 Demanda mensal projetada.....	197
5.4.9.8 Análise da capacidade de atendimento da bacia determinada à demanda de abastecimento público	199
5.5 VIABILIDADE DE CAPTAÇÃO	201
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	203
REFERÊNCIAS.....	204

1 INTRODUÇÃO

As cidades nascem da água (Mello, 2008). Desde as civilizações antigas, as cidades já se situavam nas margens dos rios, o que também ocorreu nas comunidades pré-colombianas na América Central e nas bacias hidrográficas da Índia e da China (Peixoto, 2016). A história urbana pode ser traçada tendo como eixos as formas de apropriação das dinâmicas hídricas. A trajetória das relações entre cidades e corpos d'água reflete, assim, os ciclos históricos da relação entre homem e natureza (Mello, 2008).

A sociedade conecta-se ao contexto das águas pelo simples fato de a água ser necessária tanto sob a perspectiva individual, quanto coletiva. A água é utilizada nos processos produtivos, lazer e abastecimento, ou seja, ela é essencial em todos os momentos da constituição da sociedade (ADASA, 2022). Porém, após os momentos iniciais da história, quando os rios viabilizaram as cidades – e, portanto, a civilização –, estes passaram a sofrer, inexoravelmente, e frequentemente de forma dramática, os impactos hidrológicos e ambientais do crescimento urbano, ao mesmo tempo que perderam, gradativamente, seu papel como elemento da paisagem (Baptista, 2013).

Após o século XVIII, a civilização urbana, com sua organização social e econômica, vive profundos problemas de insalubridade. Os rios continuam a ser uma peça-chave do desenvolvimento econômico e continuam a estruturar as funções sociais dominantes, mas os rios tornaram-se, globalmente, os contentores dos despojos da civilização urbana (Peixoto, 2016). No século XIX, o crescimento das aglomerações urbanas, juntamente com as epidemias de cólera e tifo que assolaram a Europa, em combinação com os avanços científicos, levaram ao estabelecimento dos preceitos higienistas, que representam uma mudança radical na relação existente entre as águas e o meio urbano (Reynoso et al., 2010). Os impactos e a dependência das ações humanas em relação ao ciclo hidrológico, de forma individual e coletiva, geraram a necessidade de avanços na organização de conceitos e ações da sociedade voltadas à Gestão Integrada dos Recursos Hídricos (GIRH) (ADASA, 2022).

Conforme Dickson, Schuster-Wallace e Newton (2016), existem estimativas globais que indicam possíveis reduções significativas nos volumes das fontes de água disponíveis para uso humano e abastecimento. Além da escassez hídrica, essas fontes têm demonstrado sinais de deterioração na qualidade da água. Esses desafios

ressaltam a necessidade de diversificação das fontes de água para os múltiplos usos. Em busca da segurança hídrica e da universalização do acesso à água potável para população atual e futura, a Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU, 2015) inclui o ODS 6, que visa garantir o manejo sustentável da água e o saneamento para todos.

Apesar do progresso global considerável no acesso à água nas últimas décadas, ainda aproximadamente 8% da população mundial não tem acesso a fontes de água de qualidade. Além disso, cerca de 29% da população global ainda não tem acesso a serviços de água gerenciados com segurança, o que significa água potável acessível nas instalações quando necessário (UNICEF; OMS, 2021).

No Brasil, o novo marco do saneamento, estabelecido pela Lei Federal nº 14.026 de 15 de julho de 2020, tem como princípios fundamentais a segurança, qualidade, regularidade e continuidade do fornecimento de água potável, além da universalização em todo o território nacional (Brasil, 2020).

Nesse contexto, o município de Flores da Cunha, situado no Estado do Rio Grande do Sul, o qual depende exclusivamente de fonte subterrânea para abastecimento público (CORSAN, 2024), exime a necessidade de diversificar as fontes hídricas municipais para atender aos diversos usos, torna-se imprescindível buscar alternativas adicionais de abastecimento para a região. Para tanto, captações de águas em rios através de barramentos fornece uma fonte confiável, independentemente de fatores climáticos, como secas ou chuvas intensas. Além disso, apresenta uma boa qualidade e menor risco de contaminação em comparação com outras fontes (Rebouças, Braga e Tundisi, 2002).

Conforme Filho (2006), uma barragem é uma estrutura construída no caminho das águas e destinada a retê-la para os mais diversos fins, como abastecimento de água, energia hidroelétrica, irrigação, controle das enchentes e da erosão, canalização dos rios, turismo, etc. O Brasil, por sua extensão territorial e volume de recursos hídricos disponíveis, possui grande potencial para aproveitamento e criação de barragens para os mais diversos fins.

Nesse contexto, o objetivo deste Trabalho de Conclusão de Curso é propor uma diversificação de matriz hídrica no município de Flores da Cunha, aliado aos princípios de segurança hídrica pensados para a atual e futura população com a análise de alternativas locais e critérios ambientais para implantação de barramento para fins de abastecimento público. Através da revisão de literatura e do

estabelecimento de critérios, busca-se definir a abordagem metodológica mais adequada para se localizar o empreendimento com o menor valor de impacto socioambiental. Além disso, este trabalho tem o intuito de selecionar qual tipo de barramento é mais indicado segundo as metodologias para a sua finalidade.

Sendo assim, o presente trabalho atua como uma ferramenta importante para a elaboração de inventário de barramentos para o município e sub-bacia. Através do método proposto, o estudo também contribui para a identificação de soluções adequadas quanto à complexa problemática ambiental, social e humanitária relacionada ao tema.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é inventariar a(s) melhor(es) alternativa(s) locacional(is) com base em critérios ambientais para implantação de barramento com finalidade de abastecimento público no município de Flores da Cunha/RS. Para cumprir com este objetivo geral, desdobram-se os seguintes objetivos específicos:

- a) Especificar as características gerais do município estudado e da bacia hidrográfica a qual ele está inserido, assim como os domínios regionais enquadrantes;
- b) Enquadrar critérios que atendam a metodologia de multicritério ambiental;
- c) Identificar os aspectos hidrológicos e estimativa de consumo;
- d) Definir critérios que atendam a metodologia de multicritério técnico-econômico;
- e) Identificar os principais impactos ambientais associados à implantação de barragens de abastecimento público;
- f) Identificar os locais propícios para implantação do barramento.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E ASPECTOS LEGAIS

No presente capítulo, está apresentada a revisão bibliográfica do tema desenvolvido por este trabalho, com o intuito de contextualizar o tópico e seu conteúdo, bem como de estabelecer uma base teórica sólida para o estudo subsequente. As referências utilizadas compreendem publicações científicas, normas técnicas, literatura consolidada e outras fontes pertinentes, em busca de garantir embasamento teórico para as decisões necessárias ao desenvolvimento deste trabalho.

3.1 DESENVOLVIMENTO DA SOCIEDADE RELACIONADO A DEMANDA POR ÁGUA

A história da civilização está intrinsecamente ligada à presença de água. A formação das primeiras cidades no mundo, situadas no Crescente Fértil, delimitado pelos rios Tigre, Jordão, Eufrates e Nilo, é resultado direto da sedentarização dos seres humanos, motivada pela necessidade de prover alimento, através da agricultura, para a população tribal. Por isso, desde muito cedo, os homens procuraram habitar regiões próximas aos rios, pois nestas existia abundância de água potável para os membros da tribo e para os seus animais (Faber, 2011).

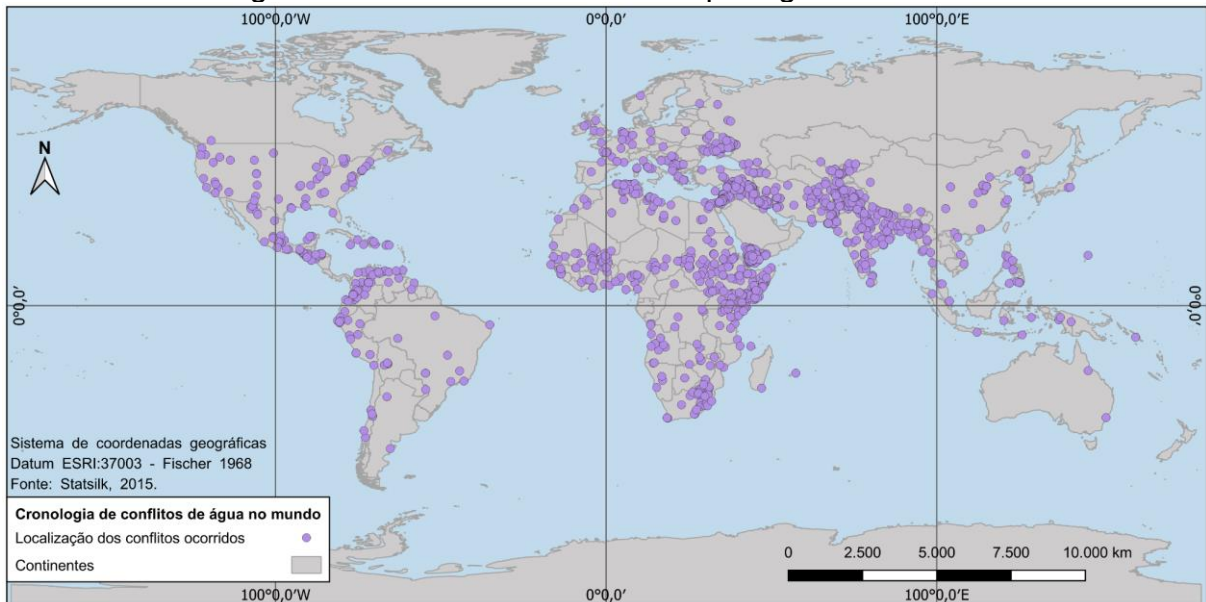
No entanto, o surgimento das primeiras cidades não ocorreu de forma homogênea, na verdade, em cada região as cidades nasceram dentro de características próprias. A grandiosidade das civilizações egípcia e mesopotâmica estão ligadas à sua riqueza natural, associada ao domínio da agricultura e a proximidade de seus rios (Faber, 2011). Assim como nos vales dos Indus, dos rios Amarelos e Nilo, onde a partir do V milênio a.C., pequenas vilas se transformaram, gradualmente, em cidades, invariavelmente junto aos rios, explorados já por complexos sistemas de irrigação, que exigiram os primeiros esforços do homem no sentido de regular e sistematizar, de forma escrita, o acesso à água (Baptista et al., 2013).

A fartura resultante da incipiente agricultura incentivou o aumento demográfico, o qual requereu novas técnicas a fim de aumentar a produção e a produtividade. A expansão da fronteira agrícola para novas terras férteis propiciou a invenção do arado, enquanto que para irrigação, as barragens foram utilizadas nas terras abundantes em

água (Mesopotâmia, vales do Nilo, do Indo e do Amarelo) (Rosa, 2012). Junto à expansão territorial, surgiu o comércio, que no início era feito somente com os excedentes da produção, mas com o tempo passou-se a plantar visando a venda e/ou a troca, realizada, muitas vezes, através de embarcações (Faber, 2011). No entanto, o surgimento dessas prósperas sociedades agrícolas resultou em conflitos sobre o uso e a propriedade das águas.

Ao longo da história do desenvolvimento social já ocorreram 1634 conflitos relacionados à água no planeta (Water Conflict Chronology, 2024) (Figura 1). O primeiro conflito pelo uso da água que se tem registro ocorreu em 2500 a.C., envolvendo duas cidades-estado da Mesopotâmia - Umma e Lagash. A disputa envolvia áreas limítrofes entre as cidades nas bacias dos rios Tigre e Eufrates, para a irrigação de suas agriculturas. Já a primeira problemática envolvendo barragens, ocorreu na Mesopotâmia no ano de 1720 a.C., relacionada a conflitos territoriais entre sumérios e acadianos, dada pelo represamento do rio Tigre pelo rei dos sumérios, Abish (Hatami, 1994).

Figura 1 - Ocorrência de conflitos por água no mundo.



Fonte: Elaborado pela autora com base em "Water Conflict Chronology" (2024).

Assim, a relação entre desenvolvimento societal e água reside primeiramente na busca por terras mais férteis para desenvolvimento da agricultura. Depois, com o crescimento demográfico, essa relação se manifesta na expansão territorial das comunidades, ou ainda na escolha da localização mais adequada para

desenvolvimento do comércio que se estabeleceu entre locais dispersos, mas que os rios permitiam ligar enquanto veículos primordiais de circulação (Peixoto, 2017).

3.2 CONSEQUÊNCIAS DAS URBANIZAÇÕES

Após os momentos iniciais da história, quando os rios viabilizaram as cidades e, portanto, a civilização, estes passaram a sofrer, inexoravelmente os impactos hidrológicos e ambientais do crescimento urbano, ao mesmo tempo que perderam, gradativamente, seu papel como elemento da paisagem (Baptista, 2013). Este declínio é evidenciado não apenas pelas modificações físicas em sua morfologia e estrutura, mas também pelos desafios enfrentados em relação à qualidade da água, especialmente em áreas urbanas. A poluição dos corpos hídricos urbanos não apenas afeta a sobrevivência da vida aquática, mas também representa uma séria ameaça à saúde humana (Guerra; Cunha, 2000). Essa situação é agravada pela contaminação dos rios, que muitas vezes compromete as águas subterrâneas, frequentemente utilizadas para o abastecimento humano, especialmente em áreas urbanas com acesso limitado à água tratada, como Flores da Cunha.

O crescimento populacional associado ao desenvolvimento urbano promove profundas alterações no meio ambiente, as quais se refletem principalmente na deterioração da qualidade dos recursos naturais, em particular dos recursos hídricos (Campana; Bernardes, 2010). O elevado crescimento da demanda por água doce em todo o mundo para o abastecimento doméstico, industrial e produção de alimentos através da agricultura irrigada, demonstra como na atualidade, as atividades humanas estão dependentes da disponibilidade deste bem natural (Esteves; Meneses, 2011).

Segundo Tucci (1995) especificamente, em relação às águas, muitas são as atividades que causam poluição. O termo poluição pode ser definido como a adição de substâncias ou de formas de energia que, direta ou indiretamente, alterem a natureza do corpo d'água de uma maneira tal, que prejudique os legítimos usos que dele são feitos (Von Sperling, 1995). A alteração da cobertura vegetal da bacia hidrográfica, por si só, pode ser considerada como fonte de poluição, uma vez que influencia na resposta da bacia aos eventos de chuva, modificando seu comportamento hidrológico. Da mesma forma, segundo Larentis (2004), a alteração das características físicas do leito de um rio, exemplificada pela construção de uma

barragem, impacta significativamente a qualidade da água tanto nas áreas acima quanto abaixo do barramento.

Os rios, como parte integrante de sistemas complexos que incluem aspectos climáticos, geológicos, vegetativos e de uso do solo, desempenham um papel crucial no transporte e na regulação de sedimentos, matéria orgânica e compostos químicos dissolvidos. Assim, para compreender adequadamente o funcionamento de um rio, é fundamental considerar sua bacia hidrográfica, que abrange toda a área da superfície terrestre cujas águas pluviais são drenadas para esse rio (Siqueira; Henry-Silva, 2011). Uma vez que, das atividades que modificam as condições naturais de uma bacia hidrográfica, a agricultura e o desenvolvimento urbano têm, sem dúvida, o maior potencial de introdução de mudanças permanentes nas estruturas dos rios e qualidade de suas águas (EPA, 1992).

3.3 USOS DA ÁGUA

Qualquer atividade humana que altere as condições naturais das águas é considerada um tipo de uso, que pode ser classificado como uso consuntivo ou não consuntivo. Os usos consuntivos são aqueles que retiram a água do manancial e são utilizados para irrigação, abastecimento humano, dessedentação animal ou uso industrial, ao passo que os usos não consuntivos são aqueles que utilizam a água, mas não envolvem um consumo direto, como a geração de energia, lazer, pesca e navegação (ANA, 2019a).

3.3.1 Usos consuntivos

De acordo com Collischonn e Dorneles (2015), usos consuntivos da água são definidos como modo de utilização da água que estão diretamente associados à modificação da quantidade que será disponibilizada para outros utentes. Assim, caracteriza-se como consuntivo o uso da água quando esta é consumida, total ou parcialmente, no processo ao qual é destinada, não retornando diretamente ao corpo hídrico. Uma vez que usos não consuntivos, utilizam o uso da água como: navegação, pesca, turismo e lazer (ANA, 2019a), e não afetam diretamente a quantidade de água local, não perfazendo o escopo desse estudo.

Os principais usos consuntivos dos recursos hídricos segundo Tucci, Hespanhol e Netto (2001) são: uso industrial, abastecimento humano, dessedentação animal e uso industrial. Em 2022, o Brasil registrou uma captação de 2.134,8 m³/s, o que corresponde a aproximadamente 67,32 trilhões de litros por ano. Deste total, 1.225 m³/s foram efetivamente consumidos, representando cerca de 58,6% da quantidade total captada. (ANA, 2022). A seguir, são apresentados alguns dos aspectos principais a esses usos.

3.3.1.1 Abastecimento humano




Os serviços públicos de abastecimento de água potável consistem na extração de água de um corpo hídrico específico, visando fornecer à população volumes e qualidade adequados para atender suas necessidades (FUNASA, 2016a). A Lei Federal nº 14.026/2020 (Brasil, 2020) estabelece que um sistema público de abastecimento de água potável é composto pelas atividades, infraestrutura e manutenção necessárias para o fornecimento de água, desde a captação até as conexões prediais e seus instrumentos de medição. Além disso, a Lei das Águas (Lei Federal nº 9.433/1997) reconhece o abastecimento humano e a dessedentação animal como usos prioritários da água em condições de escassez, abrangendo o uso doméstico (tanto urbano quanto rural) e nas áreas comercial e de serviços.

Além de sua importância como o segundo maior uso do país, o abastecimento urbano ocorre de forma concentrada no território, acarretando em crescente pressão sobre os sistemas produtores de água. Já a demanda de abastecimento rural, por outro lado, vem decrescendo nacionalmente em função da retração da população no campo. Entretanto, ainda responde pelo abastecimento de 30 milhões de pessoas, que muitas vezes se concentram em regiões de baixa disponibilidade hídrica (ANA, 2019b).

A Portaria de potabilidade da água para consumo humano (Portaria GM/MS nº 888, de 04 de maio de 2021) (Ministério da Saúde, 2021) classifica as formas de abastecimento de água para consumo humano em três formas de abastecimento (Figura 2), que buscam contemplar todos os arranjos existentes nos municípios:

- a) Sistema de Abastecimento de Água para consumo humano (SAA);
- b) Solução Alternativa Coletiva de água para consumo humano (SAC);
- c) Solução Alternativa Individual de água para consumo humano (SAI).

Figura 2 - Tipos de fontes de abastecimento de água para consumo humano.

Fontes de abastecimento	SAA	SAC	SAI
			
Definição	Sistema de abastecimento de água para consumo humano	Solução alternativa coletiva de abastecimento de água para consumo humano	Solução alternativa individual de abastecimento de água para consumo humano
Descrição	Infraestrutura destinada à produção e ao fornecimento coletivo de água potável, por meio de rede de distribuição.	Abastecimento coletivo de água potável sem rede de distribuição, tanto de fontes subterrâneas como superficiais.	Abastecimento de água que atenda domicílios residenciais com uma única família.
Exemplos	Concessionárias de água	Poços artesanais , poços semiartesianos, lagoas utilizados em empresas ou condomínios.	Poços caipiras em chácaras e sítios

Fonte: Adaptado de Micro Ambiental (2021).

3.3.1.1.1 Sistema de abastecimento de água para consumo humano (SAA)

O sistema de abastecimento de água para consumo humano (SAA) é definido pela Portaria GM/MS nº 888/2021 como “instalação composta por um conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, desde a zona de captação até as ligações prediais, destinada à produção e ao fornecimento coletivo de água potável, por meio de rede de distribuição” (Ministério da Saúde, 2021). O SAA apresenta uma variedade de possíveis combinações de etapas, que se integram com o propósito de atender à população por meio de rede de distribuição. Não existe arranjo único que possa caracterizar um sistema de abastecimento de água. No entanto, a maioria deles consta dos seguintes componentes: manancial, captação, adução, tratamento, reservação, distribuição e, eventualmente, estações elevatórias e ligações prediais (Brasil, 2021a).

A principal diferença em relação às soluções alternativas reside no fato de que em todo sistema de abastecimento de água o responsável pela prestação do serviço é o município, mesmo que a prestação do serviço seja concedida a um ente público vinculado a outra esfera administrativa (como é o caso dos serviços prestados pelas Companhias Estaduais) ou a um ente privado (FUNASA, 2016).

Os SAA implantados no Brasil podem ser classificados como isolados ou integrados. Os sistemas isolados captam água de um único manancial para abastecer

bairros ou localidades dentro de um município, enquanto os sistemas integrados atendem múltiplos municípios simultaneamente, utilizando um ou mais mananciais (FUNASA, 2016). Entretanto, ao considerar a imperatividade de universalizar o acesso aos serviços de saneamento básico, conforme os princípios estabelecidos pela Lei nº 14.026/2020 (Brasil, 2020), um Sistema de Abastecimento de Água (SAA) deve ser concebido e projetado para atender, de forma eficaz, eficiente e econômica, a totalidade dos domicílios de um município ao longo de um período específico (Tsutiya, 2006).

3.3.1.1.2 Solução alternativa coletiva de água para consumo humano (SAC)

A solução alternativa coletiva de água para o consumo humano (SAC) é conceituado pela Portaria GM/MS nº 888/2021 (Ministério da Saúde, 2021) como “modalidade de abastecimento coletivo destinada a fornecer água potável, sem rede de distribuição” podendo ser com captação subterrânea ou superficial, com ou sem canalização e sem rede de distribuição.

3.3.1.1.3 Solução alternativa individual de água para consumo humano (SAI)

Já o conceito de solução alternativa individual de água para o consumo humano (SAI) é definido pela Portaria GM/MS nº 888/2021 (Brasil, 2021) como modalidade de abastecimento de água para consumo humano que atenda a domicílios residenciais com uma única família, incluindo seus agregados familiares.

3.3.2 Usos não consuntivos

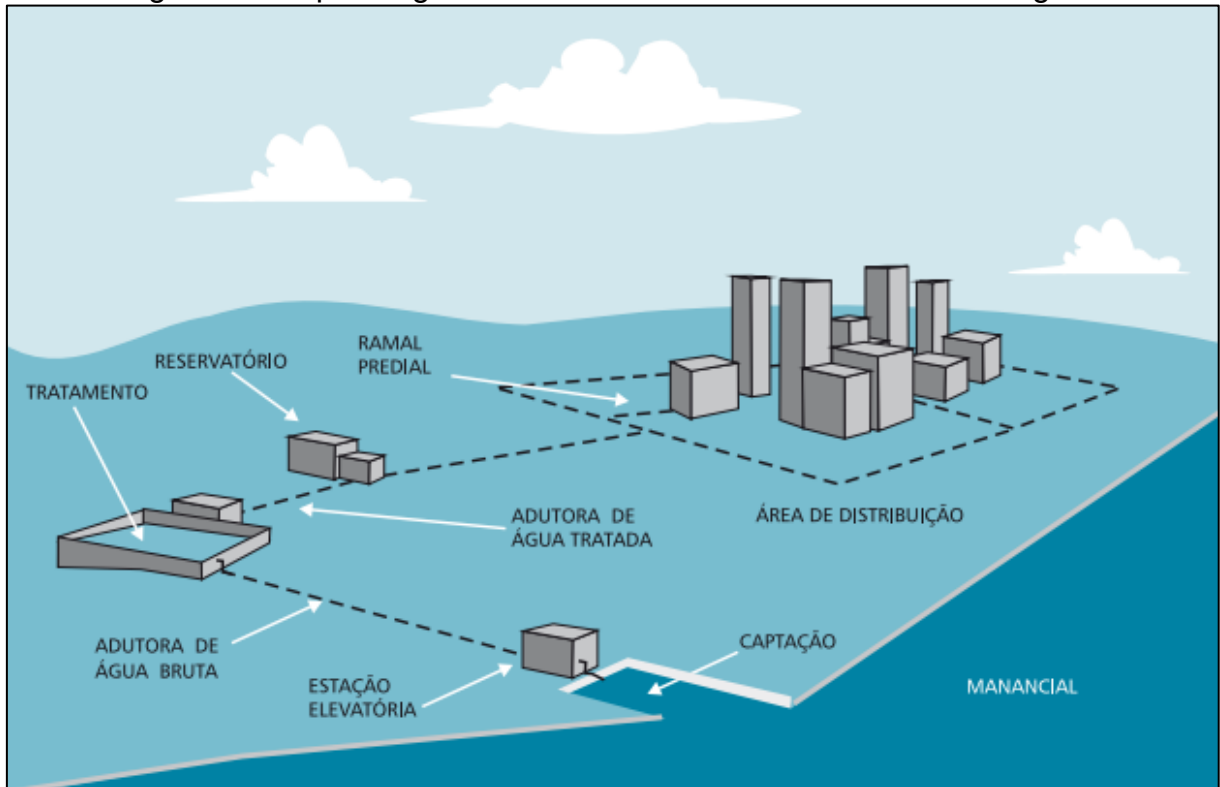
Usos da água como a navegação, a pesca, o turismo e o lazer não afetam diretamente a quantidade de água local, embora dela dependam, sendo considerados usos não consuntivos, não perfazendo o escopo desse estudo (ANA, 2019a).

3.4 COMPONENTES DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Os sistemas de abastecimento de água apresentam uma variedade de possíveis combinações de unidades que se integram com o propósito de atender a

população por meio de água encanada. Não existe um arranjo único e fixo que possa caracterizar um sistema de abastecimento de água, no entanto a maioria inclui os componentes da Figura 3.

Figura 3 - Esquema geral de um sistema de abastecimento de água.



Fonte: FUNASA (2004).

Conforme o Ministério da Saúde (Brasil, 2006), os aspectos técnicos da Figura 3 são definidos como:

- **Manancial:** Fonte de onde se retira a água;
- **Captação:** Conjunto de equipamentos e instalações utilizado para a retirada de água do manancial;
- **Adução:** Transporte de água do manancial ao tratamento ou da água tratada ao sistema de distribuição;
- **Tratamento:** Unidade onde se processam alterações nas características físicas, químicas, biológicas e organolépticas da água (percebidas pelos sentidos, como gosto e odor) com a finalidade de torná-la própria para consumo humano (potável);
- **Reservação:** armazenamento da água entre o tratamento e o consumo com os objetivos de: suprir as variações horárias de consumo, garantir a

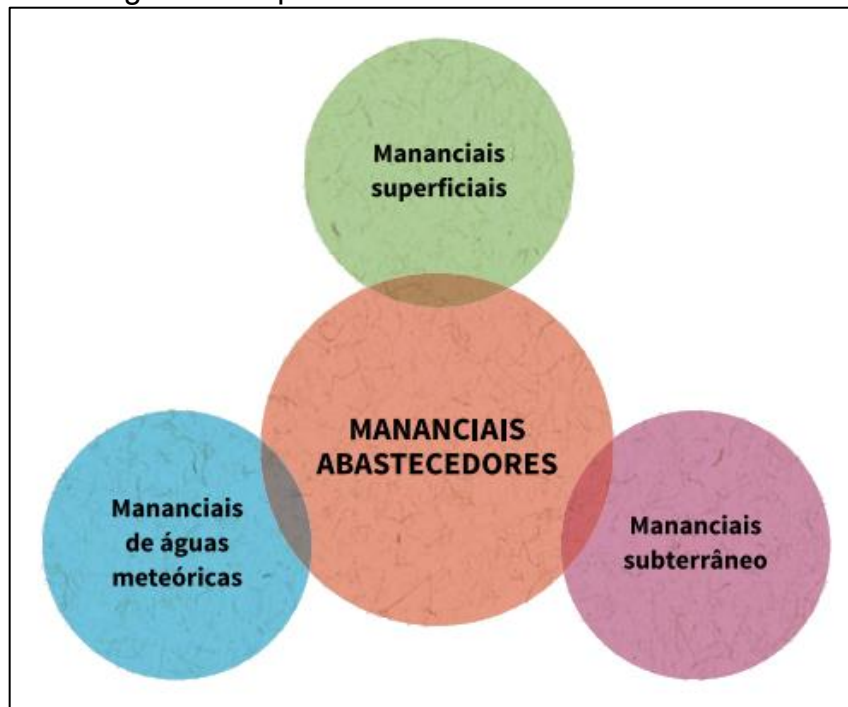
adequada pressurização do sistema de distribuição e garantir reservas de emergência;

- **Distribuição:** condução da água para as edificações e os pontos de consumo por meio de canalizações instaladas em vias públicas;
- **Ligações prediais:** derivação da água da rede de distribuição até as edificações ou os pontos de consumo por meio de instalações assentadas na via pública até a entrada da edificação;
- **Estações elevatórias ou de recalque:** instalações de bombeamento destinadas a transportar a água a pontos mais distantes e, ou, mais elevados, encontradas frequentemente nas unidades de captação e adução (adução por recalque) e em pontos intermediários dos sistemas de distribuição (boosters).

3.5 MANANCIAL DE ABASTECIMENTO

Os mananciais desempenham um papel fundamental nos sistemas de abastecimento hídrico, uma vez que constituem as fontes naturais de onde é possível extrair água para atender a demandas de consumo. Considera-se como abastecedores todos os mananciais que possuam condições sanitárias adequadas e que, sejam isolados ou em conjunto, demonstrem uma vazão suficiente para suprir a demanda máxima prevista em um intervalo temporal específico (FUNASA, 2016). Em termos de classificação, os mananciais abastecedores podem ser categorizados, de forma geral, em três tipos: mananciais superficiais, mananciais subterrâneos e águas meteóricas (Figura 4).

Figura 4 – Tipos de mananciais abastecedores.



Fonte: Adaptado de FUNASA (2016).

Mananciais superficiais são tipicamente representados pelos rios, córregos, represas ou lagos e sua formação está associada ao escoamento superficial da água, seja da chuva ou de afloramentos de fontes subterrâneas ou até mesmo do degelo da neve do cume de montanhas (Brasil, 2020). Os mananciais superficiais, incluindo barragens, representam as fontes de água potabilizável mais acessíveis, permitindo um entendimento abrangente de seus regimes hidrológicos e favorecendo a captação. Em contrapartida, os mananciais subterrâneos, que compreendem lençóis freáticos ou aquíferos, oferecem água de qualidade satisfatória para consumo imediato, especialmente aqueles em maiores profundidades. No entanto, sua exploração pode ser laboriosa e, em certos casos, onerosa. Já os mananciais de águas meteóricas, provenientes de chuva, neve e granizo, embora naturais e potabilizáveis, são admitidos nos serviços de abastecimento em condições específicas, geralmente para volumes reduzidos (ANA, 2019b).

A seleção do manancial abastecedor representa uma das decisões mais significativas na implementação de um sistema de abastecimento de água potável, seja este de natureza individual ou coletiva (FUNASA, 2016). A escolha depende de informações que permitam compor sua história, tanto em termos quantitativos como qualitativos. O Ministério da Saúde (Brasil, 2006) estabelece que a tomada de

decisões quanto ao manancial e ao ponto de captação deve ser orientada por fatores tais como:

- a) Oferta de água do manancial, incluindo séries históricas e informações sobre variações sazonais, especialmente nos períodos de estiagem;
- b) Nível de água em períodos de chuva e estiagem;
- c) Qualidade da água, incluindo variações sazonais;
- d) Diagnóstico de uso e ocupação do solo na bacia de captação, com destaque para:
 - i) Identificação dos usos múltiplos e conflitantes da água;
 - ii) Condições de proteção dos mananciais;
 - iii) Identificação de fontes poluidoras, existentes ou potenciais, tais como: lançamento de esgotos sanitários e efluentes industriais, atividades agropecuárias, etc.;
 - iv) Existência de dispositivos jurídico-administrativos, tais como: Planos Diretores, Leis de Uso e Ocupação do Solo, Leis de Zoneamento Ambiental, etc.;
- e) Facilidade de acesso;
- f) Distância entre os pontos de captação, tratamento e distribuição;
- g) Custos de implantação e operação das estruturas de captação, adução e tratamento de água;
- h) Necessidade de elevatória e fontes de energia disponíveis;
- i) Necessidade de desapropriações (Brasil, 2006).

Outro aspecto fundamental na seleção do manancial para abastecimento público é a análise de sua saturação, definida pela relação entre a capacidade máxima de oferta ou adução (L/hab.dia) e a demanda projetada da população, configurando-se como elemento crítico para a segurança operacional do sistema (Brasil, 2006). Ademais, a qualidade da água do manancial determina a complexidade dos processos de tratamento necessários, impondo limites técnicos e econômicos à viabilização da potabilização, em conformidade com os padrões normativos vigentes (Vieira e Moraes, 2005).

3.6 POTENCIAL HÍDRICO E DEMANDA

Conforme descrito por Randall (1987), o potencial hídrico compreende quatro dimensões fundamentais: quantitativa, qualitativa, temporal e espacial. A dimensão quantitativa refere-se à medida em volume ou massa de água disponível, ligada à capacidade de reserva, taxa de renovação e facilidade de extração. Por sua vez, a dimensão qualitativa é determinada por parâmetros biológicos, microbiológicos e visuais que influenciam a qualidade da água. A dimensão temporal está relacionada ao fluxo e à demanda ao longo do tempo, enquanto a dimensão espacial considera a localização geográfica, distância e acessibilidade do recurso hídrico (Amaral et al., 2000).

O consumo da água pelo homem varia no tempo, assim como a quantidade demandada. O desenvolvimento urbano contribui para o crescimento da exploração dos recursos hídricos, exigindo uma procura contínua por novas fontes hídricas. As atividades urbanas residencial, comercial, industrial e pública, dependem da existência de água em quantidade suficiente de qualidade satisfatória para atender suas necessidades no uso direto e indireto (Rutkowski, 1999).

A concepção de um sistema público de abastecimento de água exige o conhecimento da quantidade de água que o município ou a localidade demandam. Essa demanda é calculada em função do número de habitantes a ser abastecido, da quantidade de água necessária a cada indivíduo, das características locais e das condições socioeconômicas da população (FUNASA, 2016).

Conforme as diretrizes técnicas da Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN), o consumo médio de água por pessoa em residências para o cálculo de projetos de engenharia é de 200 litros por habitante por dia. Já a Organização das Nações Unidas (ONU) recomenda um consumo mínimo de 110 litros por habitante por dia para atender às necessidades básicas humanas (ISA, 2008).

3.7 CAPTAÇÃO DE ÁGUAS SUPERFICIAIS

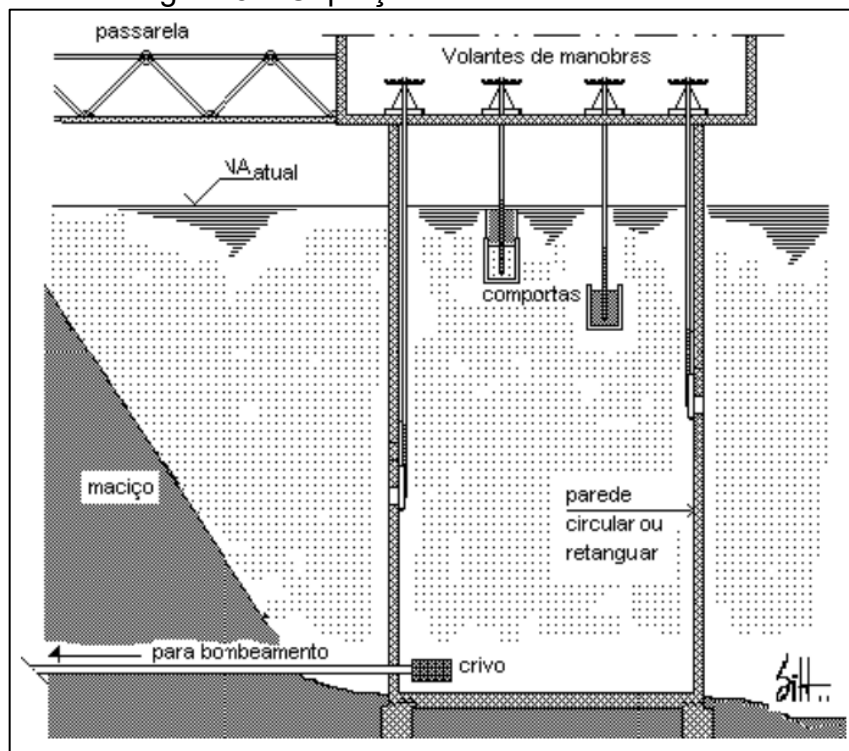
Captação superficial pode ser definida como conjunto de estruturas e dispositivos construídos ou montados junto ao manancial superficial, para se efetuar a tomada de água destinada ao abastecimento de comunidades humanas (Heller; Padua, 2010). O equilíbrio entre a oferta hídrica, representada pela vazão do manancial, e a demanda de água, correspondente à vazão de adução, é determinante para definir se a captação poderá ocorrer de forma direta ou se será imprescindível a construção de reservatórios de acumulação, como barragens e represas. Esses reservatórios são necessários para garantir a compensação do déficit hídrico durante os períodos de estiagem, utilizando os recursos captados nas épocas de chuva (Brasil, 2006).

3.7.1 Captação em reservatórios de acumulação

A necessidade de um reservatório de acumulação indica a existência de variações nos níveis de água durante o processo de captação, uma vez que, durante

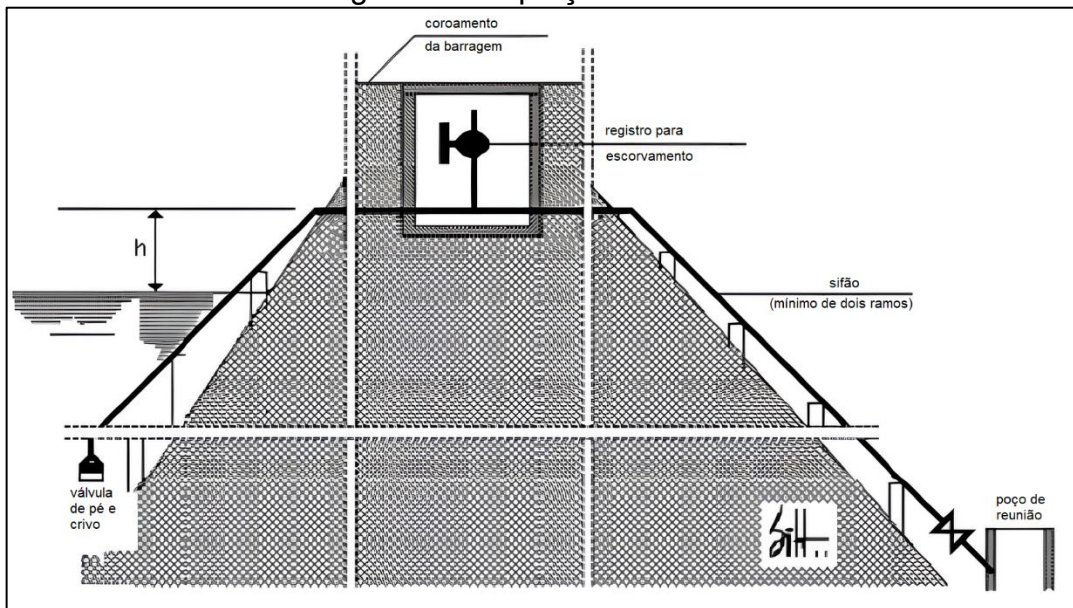
os períodos de estiagem, a vazão de entrada tende a ser inferior à vazão de saída. Segundo Guimarães, Carvalho e Silva (2007), quando a captação é projetada para ocorrer no reservatório, é comum a implementação de torres de tomada que se conectam diretamente ao maciço da barragem (Figura 5). Caso essa abordagem não seja viável, utiliza-se um poço seco de derivação (Figura 6). Para vazões menores, emprega-se sistemas de sifonamento sobre o maciço ou implementar captações utilizando conjuntos flutuantes, com a sucção e a parte móvel do recalque conectadas por mangotes flexíveis.

Figura 5 – Captação com torre de tomada.



Fonte: Guimarães, Carvalho e Silva (2007).

Figura 6 – Captação com sifão



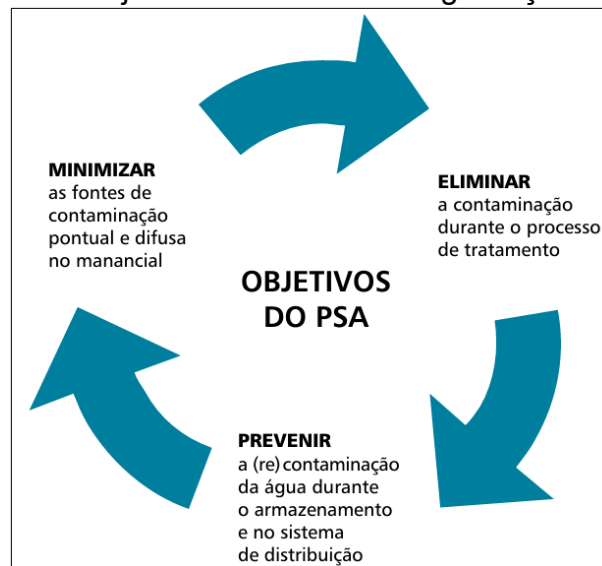
Fonte: Adaptado de Guimarães, Carvalho e Silva (2007).

3.8 PLANO DE SEGURANÇA DA ÁGUA

O gerenciamento da qualidade da água, baseado em uma abordagem preventiva de risco, auxilia na garantia da segurança da água para consumo humano (WHO, 2011). A precariedade nos sistemas de abastecimento de água, esgotamento sanitário, coleta e destinação final dos resíduos sólidos, drenagem urbana, bem como a higiene inadequada, se constituem em ameaças à saúde da população, sobretudo para as pessoas mais pobres dos países em desenvolvimento (Cano *et al.*, 2011). Para garantir a qualidade microbiológica e química da água para consumo humano, são necessários planos de gestão que, quando postos em prática, assegurem a integridade do sistema e o controle do processo, garantindo que o número de agentes patogênicos e a concentração de substâncias químicas não representem perigos à saúde coletiva, e que a água seja aceitável para os consumidores (WHO, 2011).

O Plano de Segurança da Água (PSA) é um instrumento de identificação dos perigos e caracterização dos riscos em sistema e em solução alternativa coletiva de abastecimento de água para consumo humano, desde o manancial até o consumidor, visando a estabelecer medidas de controle para eliminá-los ou reduzi-los a níveis aceitáveis (Brasil, 2012). Seus objetivos são visualizados na Figura 7.

Figura 7 - Objetivos do Plano de Segurança da Água.



Fonte: Bastos (2010).

Esses objetivos são aplicáveis à sistemas de abastecimento de água e às soluções alternativas coletivas, sendo desenvolvidos pelos responsáveis pelo sistema ou solução alternativa coletiva de abastecimento de água, acompanhados pelo Comitê de Bacia Hidrográfica da respectiva área e por representantes do setor saúde da esfera federativa correspondente. Eles devem abranger a avaliação do sistema, o monitoramento operacional e os planos de gestão, incluindo a organização da documentação e a comunicação de risco. Os planos devem abordar todas as etapas do abastecimento de água para consumo humano e devem manter o foco no controle da captação, no tratamento e na distribuição da água para consumo humano (ANA, 2012).

3.9 QUALIDADE DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO

Durante o desenvolvimento humano em uma bacia hidrográfica, ocorrem alterações significativas em suas características naturais, resultando em um aumento na geração de cargas poluentes que impactam os sistemas hídricos. O processo desordenado de urbanização e as práticas extensivas de agricultura e pecuária são os principais fatores responsáveis pela degradação da qualidade da água em rios e lagos (Tondeski, 1996; Novotny, 2003). Em condições naturais, os processos físicos, químicos e biológicos operam em equilíbrio por longos períodos. No entanto, o desenvolvimento humano na bacia perturba esse equilíbrio, causando uma ruptura na

interação entre esses elementos e o ecossistema, o que resulta no aumento da carga de poluentes transportados para os corpos d'água (Claphan *et al.*, 1999).

Em estudos voltados ao planejamento dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica, a relevância de cada parâmetro de qualidade de água normalmente é determinada por padrões de qualidade estabelecidos pelas concessionárias de abastecimento de água locais. Os parâmetros que, a partir de dados coletados em campanhas de monitoramento, apresentarem valores em desacordo com os padrões estipulados em legislação, indicarão aos planejadores as fontes de poluição que irão requerer maior atenção no seu controle (Larentis, 2004). No Brasil, o enquadramento e a classificação dos corpos d'água segundo usos preponderantes é realizado em função de limites de concentração de uma série de variáveis de qualidade estipulados pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (Brasil, 1986).

A interferência do homem na qualidade dos recursos hídricos é hoje tão significativa que esta pode ser definida em função do uso e da ocupação do solo na bacia hidrográfica (Von Sperling, 1995). Este fato reflete a relação entre as atividades predominantemente desenvolvidas na bacia e o tipo de poluição gerada por cada uma delas. Torna-se então indispensável em estudos ambientais, a consideração, tanto dos fatores antrópicos, quanto dos fatores naturais que venham a intervir na qualidade das águas de uma bacia hidrográfica. Da mesma forma, a modificação das características físicas do leito de um rio, como no caso da construção de uma usina hidrelétrica, altera a qualidade da água tanto a montante quanto a jusante do barramento (Larentis, 2004).

No que se refere à captação em reservatórios, é imperativo considerar as variações na qualidade da água em função da profundidade, das oscilações de nível e da temperatura. As águas represadas favorecem o desenvolvimento de algas, especialmente nas camadas superficiais. Por outro lado, nas camadas inferiores, pode ocorrer uma elevada concentração de matéria orgânica em decomposição e uma maior quantidade de sólidos em suspensão, o que pode dificultar ou onerar a remoção da turbidez nos processos de tratamento (Tsutiya, 2006). Ademais, essas condições podem implicar em dificuldades durante o processo de bombeamento da água.

Especificamente, as tomadas de água em reservatórios de acumulação não devem ser tão superficiais nem também tão profundas, para que não ocorram problemas de natureza física, química ou biológica. Superficialmente ações físicas danosas podem ter origem através de ventos, correntezas (principalmente durante os

períodos de enchentes com extravasão do reservatório) e impactos de corpos flutuantes. Nas partes mais profundas sempre teremos maior quantidade de sedimentos em suspensão, dificultando ou encarecendo a remoção de turbidez nos processos de tratamento (Guimarães; Carvalho e Silva, 2007).

3.10 ASPECTOS GERAIS E TÉCNICOS DE BARRAGENS

No âmbito técnico, este capítulo aborda os diversos aspectos das barragens, incluindo definições, conceitos básicos, finalidades, requisitos para implantação, bem como outros temas correlatos. Além disso, é apresentado um breve histórico das barragens, destacando sua relação com o controle das águas, seu papel no desenvolvimento e a necessidade de construção, considerando práticas tanto nacionais quanto internacionais.

Na fundamentação teórica deste trabalho, é essencial analisar os principais aspectos técnicos de engenharia relevantes para os procedimentos de seleção ambiental de barragens, visando proporcionar uma compreensão completa dos elementos discutidos. Adicionalmente, são discutidas as questões de conflitos de uso da água na bacia hidrográfica, com especial ênfase nos aspectos mais pertinentes ao escopo deste estudo. Nos próximos tópicos, essas análises são ampliadas para fundamentar os argumentos que serão apresentados nos capítulos subsequentes.

É importante ressaltar que o objetivo não é esgotar o tema, mas sim destacar elementos que possam orientar as discussões subsequentes.

3.10.1 Evolução de barramentos

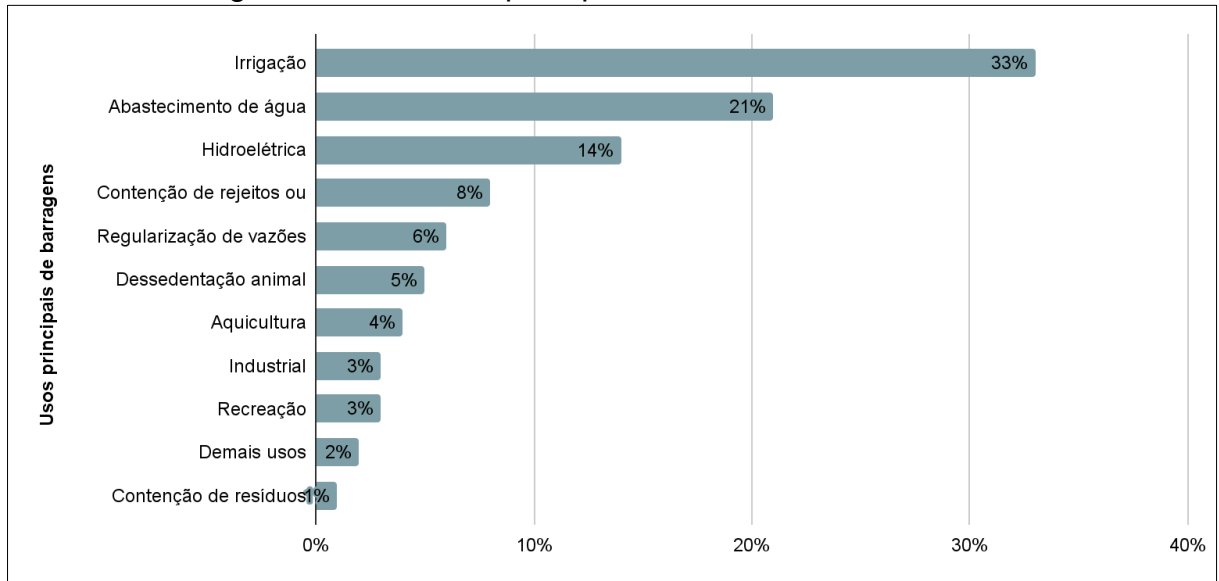
A construção de barragens para aproveitamento dos recursos hídricos começou há vários milhares de anos, havendo registros de obras construídas há 4.000 anos em diversos países do mundo, como Egito, China e Mesopotâmia (Fernandes, 2020). Conforme Ramos *et al.* (2010), a barragem mais antiga de que se tem conhecimento é a barragem de Jawa, na Jordânia, situada a cerca de 100 quilômetros da cidade de Aman, construída por volta de 3.000 a.C. Já a barragem mais antiga ainda em operação é a barragem de Quatinath, na Síria, tendo sido construída por volta de 1.300 a.C. com a finalidade de abastecimento de água à população da cidade de Homs, o que ocorre até os dias atuais (Fernandes, 2020).

Segundo Possan (2016), nas primeiras barragens os materiais mais utilizados na construção eram pedras, terra, alvenaria e madeira; esse material era transportado manualmente e compactado por pisoteamento de homens ou animais. Com o decorrer do tempo e com a evolução da tecnologia foram introduzidos núcleos de argila para garantir a estanqueidade das barragens. O início do uso de enrocamento na construção de barragens se deu no século XX e foi introduzida à compactação mecânica (Jansen, 1983; Massad, 2010). Já com o advento do concreto este passou a ser um dos materiais de construção empregado em barragens, devido às suas características de durabilidade, baixo custo de produção, disponibilidade de materiais e adaptação a formas (Possan, 2016).

No Brasil, as barragens também surgiram em decorrência da necessidade de se usufruir dos benefícios do uso múltiplo dos recursos hídricos para a população. A mais antiga barragem que se tem notícia em território brasileiro foi construída onde hoje é a área urbana de Recife, Pernambuco, possivelmente no século XVI. Nas regiões sul e sudeste, inicialmente, a implantação de barragens foi principalmente direcionada para a produção de energia elétrica, por esse motivo as mais importantes contribuições no sentido de desenvolvimento de tecnologias de projeto, construção e operação de barragens são devidas à implementação de hidrelétricas (CBDB, 2011).

Atualmente, no Brasil, segundo o Relatório de Segurança de Barragens (RSB, 2022) elaborado pela ANA, constam mais de 23 mil barragens cadastradas por 33 órgãos fiscalizadores no Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB). Dessas 23 mil, o uso principal das barragens enquadradas na PNSB são: 1.895 estruturas constituídas com o objetivo de irrigação; 1.167 com o objetivo de abastecimento humano; 788 para produção de energia elétrica; 469 para contenção de rejeitos de mineração; 342 para regularização de vazões; 304 com a finalidade de dessedentação animal; 237 para aquicultura; 143 para recreação; 142 com uso industrial; 39 para contenção de resíduos industriais e 139 para os demais usos (Figura 8).

Figura 8 - Finalidade principal dos barramentos no Brasil.



Fonte: Elaborado pela autora com base em RSB (2022).

3.10.2 Conceito de barragens

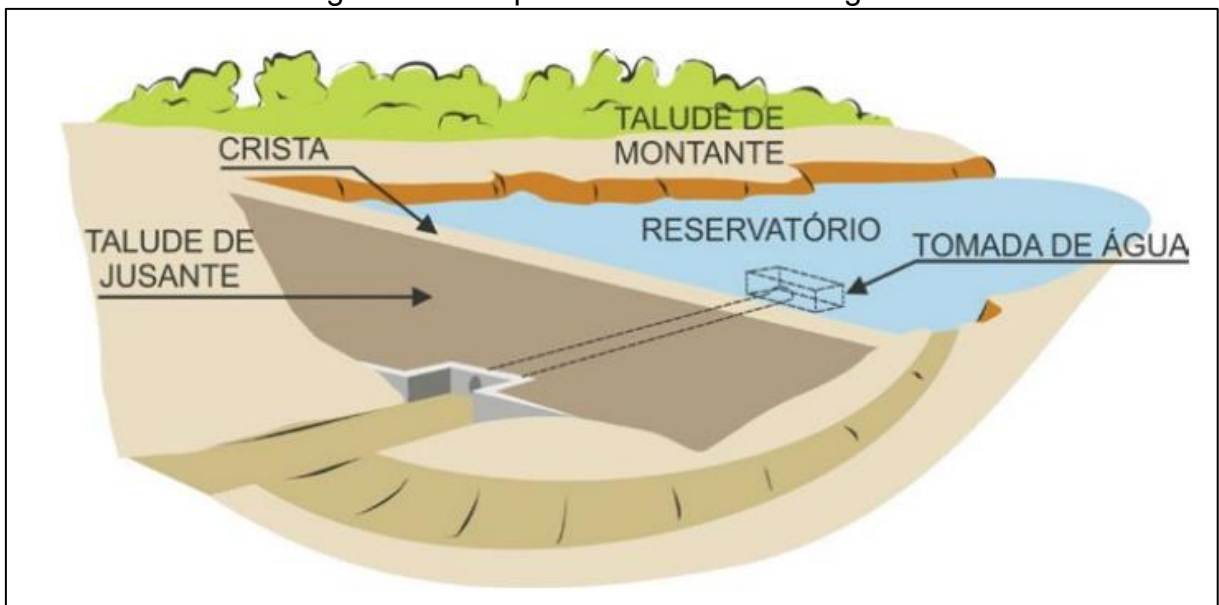
As barragens, de acordo com a Comissão Internacional de Grandes Barragens (ICOLD, na língua inglesa) (2024), são definidas como “obstáculos artificiais com a capacidade de reter água, qualquer outro líquido, rejeitos, detritos, para fins de armazenamento ou controle”. Ainda segundo a Cruz e Silveira (2019), “uma barragem pode ser definida como a estrutura, componente de um aproveitamento hídrico, construída transversalmente à direção de escoamento de um rio, destinada a criar um reservatório artificial de acumulação de água e um desnível hidráulico localizado, para uso específico ou múltiplo”.

As definições dos conceitos de barragem e reservatório são estabelecidas também por meio da redação da Lei Federal nº 14.066/20. Barragem é descrita por essa legislação como “qualquer estrutura construída dentro ou fora de um curso permanente ou temporário de água, em talvegue ou em cava exaurida com dique, para fins de contenção ou acumulação de substâncias líquidas ou de misturas de líquidos e sólidos, compreendendo o barramento e as estruturas associadas”, enquanto reservatório é descrito por essa legislação como “acumulação não natural de água, de substâncias líquidas ou de mistura de líquidos e sólidos” (Brasil, 2020).

A implantação de uma barragem altera profundamente a dinâmica natural de um curso d'água, criando um reservatório que modifica não apenas a paisagem, mas também os ecossistemas e as comunidades do entorno (Farias; Lemos, 2006).

Conforme destaca Cruz e Silveira (2019), essa transformação gera um espelho d'água com potencial para múltiplos usos, como navegação e abastecimento, além de uma carga hidráulica aproveitável para geração de energia ou irrigação. Esses benefícios, contudo, estão condicionados à adequada concepção dos elementos constituintes de uma barragem (Figura 9), os quais devem ser harmonicamente integrados em seu projeto e execução. As estruturas hidráulicas, por sua vez, são intimamente ligadas às finalidades planejadas, sendo determinantes tanto para a operação eficiente quanto para a segurança duradoura da obra, desde a fase construtiva até sua vida útil operacional (Cruz; Silveira, 2019).

Figura 9 - Componentes de uma barragem.



Fonte: Adaptado de NICDS (1983).

As barragens devem cumprir determinadas condições técnicas, tendo em vista a própria segurança, a do contexto em questão, a efetividade operacional e devido à importância que apresentam na infraestrutura de um país ou mesmo da região em que se inserem. No processo de projeto, construção e operação de barragens, independentemente do tipo, é essencial observar requisitos técnicos e administrativos específicos. De acordo com o ICOLD/CIGB (2008), alguns desses requisitos incluem:

- As barragens, suas fundações e seus encontros devem ser estáveis sob todas as condições de carga (níveis dos reservatórios e terremotos);
- As barragens e suas fundações devem ser suficientemente vedadas e ter procedimentos adequados de controle de percolação e vazamentos para garantir a operação segura e para manter a capacidade de armazenamento;
- As barragens devem ter borda livre suficiente para evitar transbordamento de ondas e, no caso de barragens de terra devem incluir uma margem para recalque da fundação e do maciço;

- As barragens devem ter capacidade suficiente de vertimento da vazão para evitar transbordamento dos reservatórios em casos de enchentes manual de operação e manutenção;
- É necessária uma instrumentação adequada para monitoramento de desempenho;
- É preciso que haja um plano de monitoramento e observação das barragens e demais estruturas;
- É necessário um plano de ação emergencial;
- Importante o apoio ao meio ambiente natural;
- Cronograma de inspeções periódicas;
- Revisões abrangentes, avaliações e modificações, conforme seja apropriado (ICOLD/CIGB, 2008).

No que tange aos requisitos administrativos, a referida Comissão pauta as seguintes condições:

- Manual de operação e manutenção;
- Instrumentação adequada para monitoramento de desempenho;
- Plano de monitoramento e observação das barragens e demais estruturas;
- Plano de ação emergencial;
- Apoio ao meio ambiente natural;
- Cronograma de inspeções periódicas;
- Revisões abrangentes, avaliações e modificações, conforme seja apropriado;
- Documentação formal do projeto, da construção e dos registros operacionais (ICOLD/CIGB, 2008).

A Comissão Mundial de Represas (2000), através de seu fórum global consagrou uma série de princípios que devem reger a gestão de recursos hídricos e meio ambiente para se tomar a decisão de se construir um represamento:

- I - Aceitação pública;
- II - Avaliação das opções e alternativas aos barramentos;
- III - Utilização crítica das experiências acumuladas;
- IV - Conservação dos rios e meios de subsistência;
- V - Negociação com os atingidos considerando seu sustento e sua qualidade de vida (reconhecimento dos direitos e compartilhamento dos resultados);
- VI - Ordenamento legal que viabilize os instrumentos de gestão;
- VII - Compartilhamento do rio visando à paz, ao desenvolvimento e à segurança (CMR, 2000).

Assim, há a participação social ampla de segmentos sociais no processo de decisão de construir barragens, que gera uma complexidade e esforço criativo nas instituições, causando uma interação tripla entre espaços de gestão de recursos hídricos, meio ambiente e relações humanas (Cruz; Silveira, 2019). Já a escolha do tipo de barragem dependerá, principalmente, da existência de material qualificado para sua construção, dos aspectos geológicos e geotécnicos, e da conformação topográfica do local da obra. Além desses fatores outros também são de extrema importância a disponibilidade de solo ou rocha com qualidade e quantidades

adequadas, a natureza das fundações e as condições climáticas que podem dificultar a construção de determinados tipos (Fernandes, 2020).

Para Marques e Rodolfo (2003), para um empreendimento hidráulico, além da crucial escolha do tipo de barragem, é fundamental realizar um estudo minucioso do local onde a obra será implantada, pois ele desempenha um papel fundamental na capacidade do empreendimento, nos impactos gerados e também na definição do tipo de barragem. Cada local escolhido para uma barragem é único, com condições topográficas, geológicas e hidrológicas particulares, sendo assim nenhum local é igual a qualquer outro, a concessão de um determinado detalhe do projeto, normalmente resultado de um processo iterativo, onde várias opções são concebidas, dimensionadas e orçadas para chegar a melhor solução. Por definição, o melhor arranjo para um determinado aproveitamento hidrelétrico é aquele que consegue posicionar todos os elementos do empreendimento de maneira a combinar a segurança requerida pelo projeto e as facilidades de operação e manutenção com o custo global mais baixo.

Para Porto e Azevedo (1997), o processo de tomada de decisões pode ser dividido em três fases: inteligência, projeto e escolha (Quadro 1). Sendo detalhados como:

A primeira fase, a da inteligência, representa o momento em que os projetistas estudam o sistema no qual está inserido o objeto da decisão. As principais características dessa fase são o esforço empreendido na compreensão da complexidade do sistema a ser simulado, a coleta de dados, a identificação e formulação dos objetivos e o levantamento de possíveis formas de estruturação e para a abordagem do problema. Na segunda fase, a do projeto, constrói-se o modelo do sistema, definem-se os critérios de escolha e geram-se as alternativas de solução, enquanto, na terceira fase, a de escolha (decisão), seleciona-se a melhor ou as melhores soluções a partir da análise de sensibilidade e de cenários e, eventualmente, traçam-se os planos para implementação da decisão (Porto e Azevedo, 1997).

Quadro 1 - Fases do processo decisório.

FASE	PRODUTO
Inteligência	Modelo representativo da realidade
Projeto	Conjunto de alternativas hierarquizadas
Decisão	Escolha das alternativas dominantes que passarão às próximas fases: viabilidade, projeto básico, projeto executivo e implantação

Fonte: Cruz e Silveira (2019).

Com o objetivo de incorporar a dimensão ambiental ao processo de decisão, pode-se agregar a avaliação das incertezas no processo. Essa abordagem é definida pela US Environmental Protection Agency (EPA, 1992) como “um processo que avalia a probabilidade de que efeitos ecológicos adversos possam ocorrer ou estejam ocorrendo como resultado da exposição a um ou mais agentes de estresse”. Para a EPA (1997), as avaliações de risco ecológico podem ser consideradas como algumas das variáveis de entrada em um processo de tomada de decisão que inclua o componente ambiental. Os aspectos que se aplicam ao gerenciamento de recursos hídricos e também ao processo de tomadas de decisão para barramentos segundo Cruz e Silveira (2019) são:

Os agentes estressores são as modificações no ciclo hidrológico, no uso do solo, na qualidade da água impostas pela perturbação durante a construção da obra e após sua entrada em operação, enquanto os efeitos são as consequências dessas alterações no meio ambiente biótico, abiótico e antrópico.

No caso de inventários para implementação de barramentos, deve-se levar em conta que a avaliação de incertezas e de suas significâncias, quando se propaga, os efeitos a jusante, deve ser efetuada considerando-se toda a bacia hidrográfica. Assim, pode-se chegar à conclusão de que o impacto de uma determinada barragem em um certo curso de água não apresenta efeitos significativos estatisticamente sobre o regime de fluxos do rio principal da bacia (Cruz; Silveira, 2019).

3.10.3 Diretrizes para o desenvolvimento de barragens

Neste capítulo será apresentada uma análise dos requisitos essenciais para a construção de barramentos. É fundamental destacar que barragens devem atender a uma série de exigências técnicas, não apenas para garantir sua própria segurança, mas também a segurança do ambiente circundante. Além disso, sua eficiência operacional deve ser avaliada, considerando o papel crucial que desempenham na infraestrutura regional.

O projeto de uma barragem envolve aspectos diversificados, sobretudo por abranger fatores de natureza distinta quando considerados em função do aspecto enfocado: obra propriamente dita ou ambiente em que a obra será inserida (Costa, 2016). Os fatores relacionados com a obra referem-se à concepção e ao dimensionamento dos diferentes componentes, em geral seguindo a abordagem:

- Objetivo da obra;

- Tipo de barragem;
- Arranjo de obras;
- Dimensionamento da barragem, levando em conta suas características de deformabilidade, estabilidade e estanqueidade;
- Dimensionamento das obras complementares, como vertedouro, canais, túneis e casa de força, em função de critérios de projeto e segurança das obras;
- Metodologia de construção (Costa, 2016).

As grandezas e as escalas técnicas de aproveitamentos hídricos com necessidade de obras de barramento e formação de reservatório seguem as mesmas fases de projetos da construção civil, que são: estudos de viabilidade, projeto básico e projeto executivo. Dentro da lógica e da ordem estabelecida nos planos de bacias, na fase de inventário de projetos de engenharia hidráulica desenvolvem-se estudos multidisciplinares de caráter regional com o objetivo de identificar e selecionar, ao longo de cursos de rios, os locais mais favoráveis à implantação de barragens atreladas a atendimento de planos de desenvolvimento sustentável de âmbito municipal, estadual ou federal (Cruz; Silveira, 2019).

A estrutura de barramento que irá proporcionar elevação de nível de água de montante e formação de reservatório deve atender a três princípios básicos: princípio do controle de fluxos internos, princípio da estabilidade e princípio da compatibilidade das deformações (Cruz, 1996). As barragens não são obras destinadas a impedir totalmente a passagem de água por suas fundações ou pelos aterros. A percolação de certa quantidade de água é inevitável e, até certo ponto, desejável (Sandroni, 2012).

O princípio do controle de fluxos diz respeito à necessária estanqueidade das barragens e de seu reservatório com o intuito de vedar ao máximo o corpo da barragem e sua fundação e, controlar as águas percoladas com sistemas de drenagem interna (Cruz; Silveira, 2019). Sendo as vedações indispensáveis, uma vez que nenhum sistema de vedação é capaz de impedir a passagem de água ou de reduzir de forma eficiente ou suficiente as pressões neutras (Levis, 2006).

O princípio da estabilidade fundamenta-se no conceito de projetar e construir obras que sejam estáveis em diversos aspectos, considerando a resistência dos materiais que compõem o conjunto barragem-fundação. Para as questões de estabilidade e avaliação da segurança de barragens e estruturas associadas, são seguidas as recomendações do Guia Básico de Segurança de Barragens (CBDB, 1999).

Já o princípio da compatibilidade de deformações diz respeito aos recalques que os materiais da barragem e/ou de sua fundação sofrem pela diferença dos módulos de compressibilidade entre os materiais adjacentes e subjacentes. Cruz (1996) salienta que a compressibilidade deve ser compatibilizada ou transicionada entre os materiais a fim de se reduzir recalques diferenciais que venham a prejudicar o projeto.

Portanto, a segurança de barragens é regida por rigorosos princípios que visam garantir a integridade estrutural e operacional dessas obras. Um Plano de Segurança de Barragens estabelece diretrizes para o monitoramento contínuo e a manutenção das estruturas (Brasil, 2020). Esses regulamentos são essenciais para assegurar que as barragens cumpram os princípios de controle de fluxos internos, estabilidade e compatibilidade de deformações. Ao seguir essas normas, promove-se a segurança não apenas das barragens em si, mas também das comunidades e ecossistemas circundantes, prevenindo desastres e minimizando riscos associados ao rompimento ou falhas estruturais.

3.10.4 Tipos de barragens

Segundo Pires e Mendes (2016) atualmente, não há um modelo de barragem ou técnica de engenharia que possa ser considerada ideal para todos os cenários. Muitos são os tipos de materiais e as técnicas construtivas possíveis de serem utilizados na construção de barragens. Cruz (1996) enfatiza que dos fatores condicionantes podem ser destacados os materiais disponíveis, o clima da região, a geologia, a hidrologia, os tipos de equipamentos e recursos, o custo de mão de obra, a legislação local, as condições econômicas, os fatores de preservação ambiental, os prazos construtivos além de aspectos políticos e demagógicos.

A classificação de barragens pode ser dada pela rigidez, pela forma (geometria) ou pelo tipo de material empregado na construção, conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 - Tipologia de barramentos.

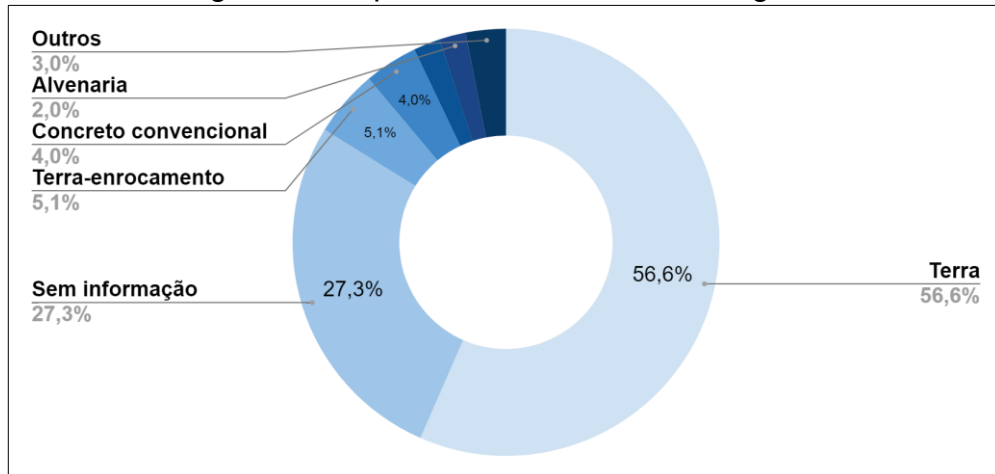
RIGIDEZ	MATERIAL DE CONSTRUÇÃO	FORMA
Rígido	Concreto	Gravidade
		Gravidade aliviada
		Arco
		Arco gravidade
		Contrafortes
Não rígido	Terra	-
	Terra e enrocamento	
	Enrocamento com face de concreto	

Fonte: Adaptado de Possan (2015).

Quanto à propriedade de rigidez, as barragens podem ser classificadas como rígidas ou não rígidas. A rigidez está atrelada ao material de construção determinado, sendo as rígidas elaboradas em concreto e as não rígidas de terra ou de enrocamento (Possan, 2015). Segundo Ferreira (1991) a determinação de execução de barragens rígidas ou não rígidas se dá pela análise geológica do local selecionado.

Quanto ao tipo de material utilizado na construção de barragens, especificamente das barragens enquadradas à Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), mais da metade apresenta barramentos de terra, enquanto em 27,3% das barragens não há informações disponíveis sobre o material utilizado (ANA, 2022). A distribuição percentual dos diferentes tipos de materiais empregados nos barramentos consolidados no Brasil é representada na Figura 10.

Figura 10 - Tipos de materiais das barragens.



Fonte: Elaborado pela autora com base em ANA (2022).

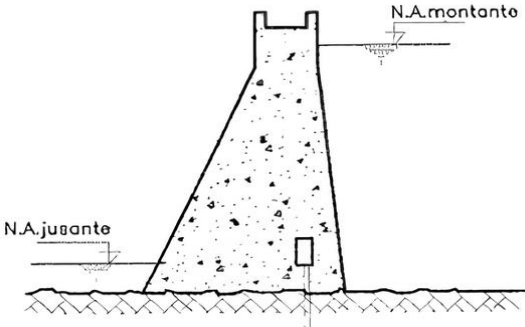
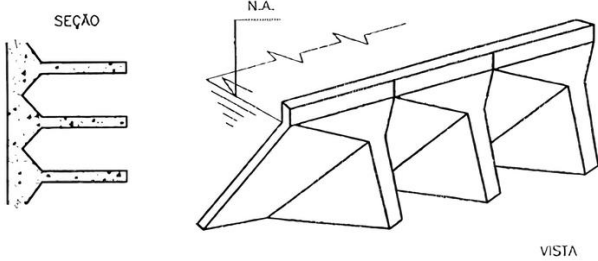
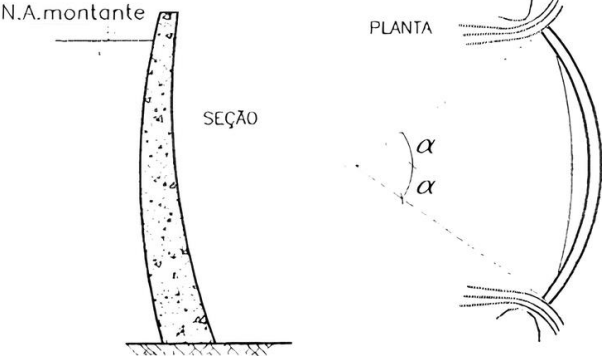
3.10.4.1 Barragens de concreto

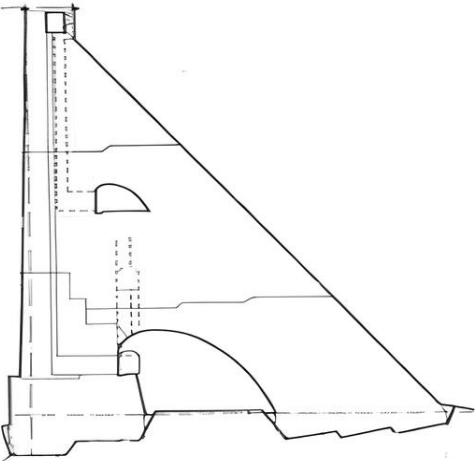
Segundo Cruz e Silveira (2019), as barragens de concreto são adequadas para vales com fundações e ombreiras constituídas de rocha sã e condutividade hidráulica relativamente baixa, que tenha disponibilidade de areias e rocha com qualidade para britagem e solo de cobertura da fundação com pouca espessura (≤ 3 metros), de modo a não encarecer a obra com os serviços de preparação da fundação. As técnicas podem variar entre concreto convencional vibrado, concreto compactado com rolo, concreto ciclópico e concreto armado.

As barragens de concreto subdividem-se, segundo sua forma e/ou geometria, em: barragens de gravidade, barragens de contrafortes, barragens em arco e barragens de gravidade aliviada.

Quadro 3 - Formas de barragens de concreto

FORMA DO BARRAMENTO	DEFINIÇÃO
Barragem de concreto gravidade	Hallmark (1976) e Filho (2006) destacam que as barragens de gravidade de concreto dependem do seu próprio peso para garantir estabilidade estrutural, podendo ser curvas ou retas e transmitindo a carga da água ao solo através do seu corpo. Geralmente apresentam uma seção ligeiramente trapezoidal ou quase triangular, com o eixo podendo ser uma linha reta ou levemente curvada para montante, visando aproveitar ao máximo as condições topográficas. Filho (2006) determina que é essencial que a construção de barragens de concreto gravidade ocorra sobre solos capazes de suportar elevadas tensões para evitar problemas nas fundações.

FORMA DO BARRAMENTO	DEFINIÇÃO
	<p data-bbox="691 293 1302 322">Figura 11 - Croqui barragem de concreto gravidade</p>  <p data-bbox="719 669 1110 698">Fonte: Adaptado de Filho (2006).</p>
Barragem de concreto contraforte	<p data-bbox="563 703 1430 1003">As barragens de contrafortes são caracterizadas por vãos posicionados entre os apoios, apresentando economia no volume de concreto empregado na estrutura deste tipo de barragem e na fundação, devido a redução do peso próprio do sistema construtivo sobre o solo (Pires, 2016). Sendo definida por Filho (2006) como uma placa de concreto armado com declive para montante, que toma a carga de água e a transmite aos contrafortes laterais. Os contrafortes são paredes verticais com seu eixo normal à placa. A placa pode ser plana ou em abóbada e os contrafortes podem ser de paredes singelas ou duplas, ou de concreto massa.</p> <p data-bbox="684 1010 1307 1039">Figura 12 - Croqui barragem de concreto contraforte</p>  <p data-bbox="691 1319 1082 1348">Fonte: Adaptado de Filho (2006).</p>
Barragem de concreto em arco	<p data-bbox="563 1352 1430 1503">Segundo Filho (2006) uma barragem em arco é composta de uma parede única de concreto, curva em planta, com a sua face convexa voltada para montante. Sendo a distribuição destes esforços divididos entre as ombreiras da rocha adjacente por efeito de arco e a outra parte vai para a fundação, por transmissão direta através da massa da barragem.</p> <p data-bbox="719 1509 1273 1538">Figura 13 - Croqui barragem concreto em arco</p>  <p data-bbox="735 1912 1126 1942">Fonte: Adaptado de Bing (2024).</p>
Barragem de concreto gravidade aliviada	<p data-bbox="563 1951 1430 2063">Segundo Possan (2018), as barragens de concreto gravidade aliviada são simplificações de barragens de concreto gravidade, as quais admitem espaços vazios em seu núcleo com vistas à redução do volume de concreto empregado. Por esse motivo são também chamadas de</p>

FORMA DO BARRAMENTO	DEFINIÇÃO
	<p>barragem de gravidade vazadas. Figura 14 - Croqui barragem concreto gravidade aliviada</p>  <p>Fonte: Adaptado de Junior e Salles (2011).</p>

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Entre os principais tipos de barragens de concreto, destacam-se as barragens de gravidade e as barragens em arco de concreto armado (CBDB, 2024). Na busca pela redução do tempo e dos custos de construção, a alternativa das seções de barramento em concreto armado tem sido frequentemente descartada (Cruz e Silveira, 2019). Portanto, este estudo adota uma abordagem mais abrangente para os casos de barragens de gravidade de concreto.

3.10.4.1.1 Barragens de concreto ciclópico

O concreto ciclópico é uma mistura de concreto convencional e de pedras de mão ou rachões com o objetivo de reduzir o consumo de cimento. Essa técnica consiste em lançar uma camada de aproximadamente 10 centímetros de concreto convencional sobre a qual serão colocadas as pedras de mão, dispostas manualmente, de forma que haja, entre elas, um espaçamento de aproximadamente 20 centímetros. Posteriormente, lança-se o concreto no espaço compreendido entre os rachões e, sobre eles, de forma a se ter uma cobertura de 5 a 10 centímetros, realizasse o adensamento do concreto e, assim, sucessivamente vão sendo alterados os blocos da barragem (Cruz; Silveira, 2019).

3.10.4.1.2 Barragens de concreto compactado a rolo

O concreto compactado a rolo é um concreto simples com baixo consumo de cimento e com consistência seca para ser adensado continuamente, em camadas, com rolos compactadores, conforme se procede à compactação de aterros convencionais de solos argilosos. No Brasil, tem sido adotada, como prática, a aplicação de concreto compactado a rolo (CCR) com consumos da ordem de 80 a 100 kg de cimento/metro cúbico de concreto (Cruz; Silveira, 2019). De acordo com os mesmos autores, as principais características dos maciços de barramento com CCR são:

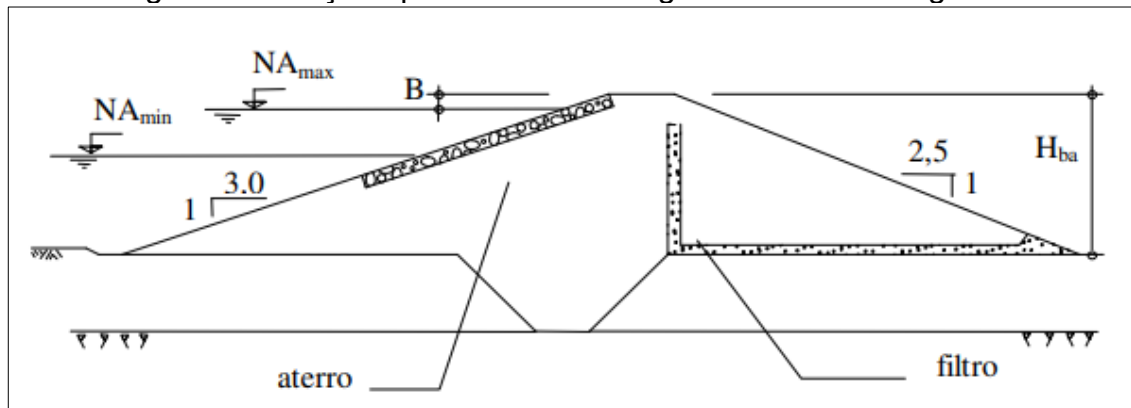
- Baixo consumo de cimento;
- Rapidez de construção comparada com aterros convencionais;
- Transporte do concreto pode ser feito com caminhões de grande porte;
- Concreto é lançado e compactado em camadas finas;
- Após o espalhamento, o concreto é compactado (adensado) com uso de rolo liso vibratório, formando uma camada de 30 a 100 centímetros de espessura, sendo usual a utilização de camadas de 30 a 40 centímetros;
- Para fazer a ligação entre as camadas de concreto compactado, é utilizada argamassa de berço (3 centímetros);
- As juntas de contração transversais ao eixo da barragem são induzidas por mantas plásticas posicionadas verticalmente no concreto, a cada, aproximadamente, 20 metros;
- Normalmente, o maciço de CCR da barragem com baixo consumo de cimento, resulta com alta permeabilidade, por isso é vedado (impermeabilizado) a montante com uma fina camada de concreto convencional vibrado, a qual é lançada e adensada ao mesmo tempo em que o CCR vai sendo alteado (Cruz; Silveira, 2019).

3.10.4.2 Barragens de terra

As barragens de terra possuem seção transversal com predominância absoluta de um único tipo de material terroso (solo argiloso ou de baixa condutividade hidráulica), disponível para sua construção. São tradicionalmente utilizadas em empreendimentos agrícolas para irrigação. A utilização de barragens de seção homogênea é, em geral, menos frequente, face à indisponibilidade de solos com características relativamente homogêneas. Nas barragens de seção mista, aproveitam-se os materiais mais permeáveis para os espaldares, devidamente protegidos contra o efeito de erosões superficiais, e utilizam-se os menos permeáveis na zona central. O zoneamento dos materiais é definido de acordo com as suas características tecnológicas, a sua sequência e época de escavação e de

aproveitamento (ANA, 2016). Para barramentos de terra existe apenas uma seção típica de formato, ilustrado na Figura 15.

Figura 15 - Seção típica de uma barragem de terra homogênea.



Fonte: Assis (2003).

3.10.5 Finalidades de barramentos

Segundo Assis (2003), as barragens podem ser reunidas, quanto às suas finalidades, em dois grupos: barragens de regularização e barragens de retenção.

3.10.5.1 Barragens de regularização

Essas barragens objetivam regularizar o regime hidrológico de um rio, armazenando água nos períodos de déficit de afluência em relação à demanda (Assis, 2003). Essa operação possibilita reduzir a amplitude das vazões naturais no primeiro período e garantir, no segundo, vazões efluentes superiores aos naturais (Costa, 2016). Dependendo da finalidade específica da regulação hídrica, pode-se buscar diferentes objetivos, como aumentar o volume de água armazenada, elevar o nível natural através do armazenamento ou simplesmente criar um reservatório. A implantação de barragens de regularização geralmente substitui a variabilidade sazonal e interanual do regime hidrológico por um regime controlado, com altas vazões durante os períodos de seca e cheias parcialmente ou completamente amortecidas (Petry, 2001).

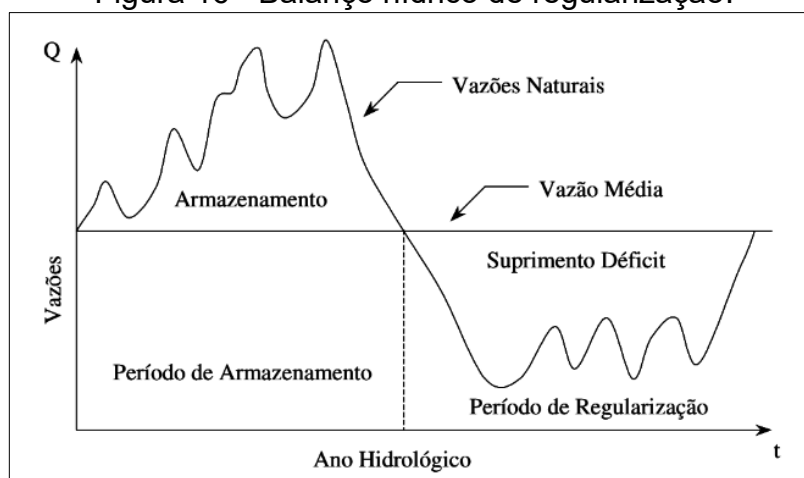
Segundo Assis (2003), as barragens de regularização possuem, em geral, uma ou mais das seguintes finalidades específicas:

- Aproveitamento Hidrelétrico: Neste caso deve-se considerar, como benefício adicional à regularização, a formação de desnível, propiciando a criação de energia potencial hidráulica, que é transformada em energia elétrica.
- Navegação: Também neste caso há um benefício duplo:
 - a) Para jusante, através da regularização do período de estiagem;
 - b) Para montante, através do afogamento de eventuais corredeiras e cachoeiras.
- Abastecimento de água: Para fins industriais, de irrigação ou doméstico, entre outros.

3.10.5.1.1 Barragens para abastecimento de água

Segundo Andrade (2012), a finalidade de regularização de vazões abarca os fins de abastecimento de água, navegação, irrigação e outros usos correlatos, uma vez que esses se encontram intrinsecamente relacionados à questão de regularizar o regime hidrológico do rio, para, após isso, proceder ao objeto específico da construção da barragem. Ao analisar a Figura 16, percebe-se que, durante o ano hidrológico, a barragem de regularização armazena determinados volumes, correspondentes à área acima da vazão média exposta no gráfico, a fim de se dispor de condições, quando da estiagem, de suprir a demanda nesse período em que as vazões naturais se encontram abaixo da média (Andrade, 2012).

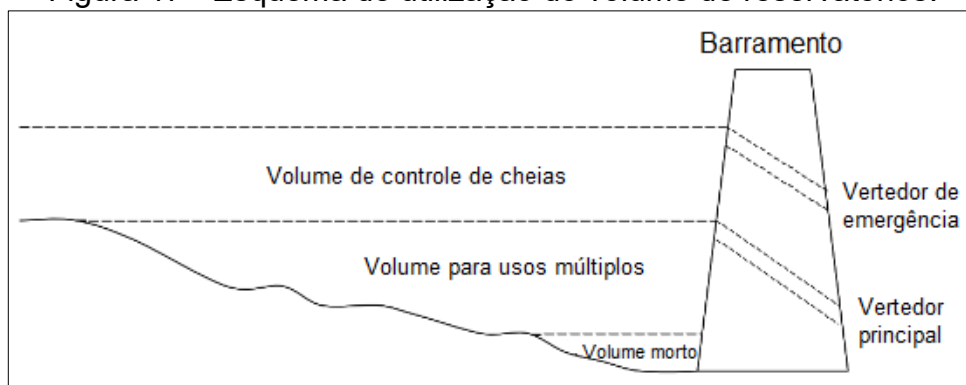
Figura 16 - Balanço hídrico de regularização.



Fonte: Assis (2003).

Um reservatório pode ser descrito, do ponto de vista físico, por seus níveis e volumes característicos. No contexto das barragens destinadas à regulação de vazões para abastecimento público, é fundamental enfatizar os aspectos técnicos, os quais detalham os mecanismos de controle e operação dessas estruturas essenciais para o fornecimento de água (Figura 17). Segundo Lopes e Santos (2002), os aspectos técnicos são definidos como:

Figura 17 - Esquema de utilização do volume de reservatórios.



Fonte: Neitsch et al. (2001).

- **Volume morto:** Corresponde à parcela do volume total do reservatório inativa ou indisponível para fins de captação de água, ou seja, está abaixo do nível d'água mínimo operacional;
- **Nível d'água mínimo operacional:** Encontra-se acima do limite superior da estrutura de tomada d'água, de forma a evitar vórtices na entrada da tomada;
- **Nível d'água máximo operacional:** Corresponde à cota máxima permitida para o funcionamento normal do reservatório. Geralmente, esse nível coincide com a crista do extravasor ou com a borda superior das comportas do vertedor. Este também define o limite superior útil do reservatório;
- **Volume útil:** Corresponde ao volume compreendido entre os níveis d'água mínimo operacional e máximo operacional. Este é o volume efetivamente destinado à operação do reservatório, ou seja, para atendimento das diversas demandas de água;
- **Vida útil do reservatório:** Horizonte de tempo máximo de uso dos reservatórios, necessário em decorrência do assoreamento desses (Campos, 2007);

- **Cotas de tomada d'água:** Cotas de nível d'água destinadas a determinado uso, como abastecimento, irrigação, dessedentação animal, dentre outros (Andrade, 2012).

Barragens de armazenamento são construídas para fornecer água em períodos em que ela é escassa. Esses períodos podem ser sazonais, anuais ou ainda maiores. Inúmeras pequenas barragens acumulam o excesso de água da primavera para utilizá-la durante a estação seca do verão, no caso de regiões com chuvas abundantes no período da primavera. Essas barragens podem ser subclassificadas de acordo com o propósito do armazenamento: irrigação, geração de energia, criação de açudes para peixes e consumo humano são exemplos de usos comuns (USA, 1960 p. 66).

3.10.5.2 Barragens de contenção ou retenção

As barragens de contenção objetivam reter água de forma temporária ou acumular sedimentos, resíduos industriais ou rejeitos de mineração. No caso de retenção de água, essas barragens têm a finalidade de amortecer a onda de enchente para evitar inundações a jusante.

3.11 IMPACTOS AMBIENTAIS DE BARRAMENTOS

De acordo com a Resolução CONAMA nº 01/1986, impacto ambiental refere-se a toda e qualquer modificação nas características físicas, químicas e biológicas do ambiente decorrente de ações humanas, através da utilização de matéria ou energia. Tais alterações, diretas ou indiretas, afetam a saúde, a segurança e o bem-estar da população, bem como nas atividades sociais e econômicas, da biota, das condições estéticas e sanitárias do meio ambiente, e da qualidade dos recursos ambientais (Brasil, 1986). Outra conceituação de impacto ambiental é apresentada pela norma ISO 14001:2015, na sua segunda revisão, definindo-o como "qualquer alteração no meio ambiente, adversa ou benéfica, resultante, total ou parcialmente, das atividades, produtos ou serviços de uma organização".

Para avaliar esses impactos, é aplicada a Avaliação de Impactos Ambientais (AIA), normatizada pela Lei Federal nº 6.938/1981, a qual estabelece a Política Nacional de Meio Ambiente. A AIA consiste em um conjunto de procedimentos jurídicos, institucionais e técnico-científicos projetados para antecipadamente

identificar os efeitos ambientais de um empreendimento (Brasil, 1981). Para tanto, a Resolução CONAMA nº 01, publicada em 1986, regulamentou nacionalmente a obrigatoriedade de elaboração de Estudo de Impacto Ambiental (EIA) para atividades que promovam alterações significativas no meio ambiente, condicionando a obtenção de licença ambiental a esse processo (CONAMA, 1986).

Além de estabelecer as diretrizes para a AIA, a Resolução CONAMA nº 01 (Brasil, 1986) define o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) como seu principal documento. O EIA requer a realização de análises técnicas e científicas por uma equipe multidisciplinar, com o propósito de efetuar uma avaliação sistemática dos efeitos ambientais antes da implementação de obras ou atividades potencialmente capazes de causar degradação significativa (Ibrahin et al., 2015). Inerente ao processo de licenciamento ambiental, o EIA visa fornecer à Administração Pública uma base sólida de informações para embasar suas decisões quanto à concessão ou não de licença para o empreendimento (Araújo, 2002), que, por conseguinte, alinha-se com o disposto no artigo 225 da Constituição Federal de 1988, que assegura a todos o direito a um meio ambiente ecologicamente equilibrado, essencial para uma qualidade de vida saudável, e impõe ao Poder Público e à sociedade o dever de protegê-lo e preservá-lo para as atuais e futuras gerações (Brasil, 1988).

Os EIAs são os documentos que analisam as alternativas técnicas e locais do empreendimento, compreendendo estudos de definição de áreas de influências diretas e indiretas do empreendimento para os meios físico, biótico e socioeconômico, o diagnóstico ambiental da área, a análise integrada dos diversos meios, a análise de impactos ambientais, a proposição de medidas mitigadoras e compensatórias e a conclusão sobre a viabilidade ambiental do empreendimento. Enquanto que o RIMA é o resumo elaborado em linguagem acessível ao público leigo dos conteúdos presentes do EIA (Cruz; Silveira, 2019).

Quanto às técnicas utilizadas para quantificação de impactos, a mais difundida no Brasil corresponde à matriz de interação, sobressaindo como principal referência dentre elas a Matriz de Leopold. Conforme Absy *et al.* (1995):

Trata-se de uma matriz bidimensional simples que contém, na sua concepção original, uma centena de ações relativas ao empreendimento e oitenta e oito características ambientais. Cada célula da Matriz mostra a relação entre uma ação do empreendimento e uma característica ou condição ambiental, qualificando a magnitude e a significância dos impactos dela resultantes em uma escala de "1" a "10". A magnitude é colocada no canto superior esquerdo de cada célula e, a significância, no canto inferior direito.

Segundo Farias e Lemos (2006), os fatores ambientais e impactos previstos correspondentes a obras de barragens são apresentados no Quadro 4.

Quadro 4 - Resumo de fatores ambientais e impactos em obras de barragens.

MEIO	FATOR AMBIENTAL	IMPACTOS	
Físico	Condições climáticas	Possibilidade de alteração do clima com consequências no meio ambiente	
	Geologia e morfologia	Sismicidade induzida	
		Instabilidade dos taludes marginais do reservatório	
		Inundação das jazidas minerais	
		Mudanças na paisagem regional	
	Solos e capacidade dos usos das terras	Desaparecimento de extensas áreas de terras	
		Degradação de solos para a construção da barragem	
		Mudanças na capacidade de uso das terras	
	Uso atual do solo	Mudanças no uso do solo	
		Intensificação dos processos erosivos, com decorrente assoreamento do reservatório e contaminação da água	
	Recursos hídricos	Transformação do meio hídrico	
		Contaminação e eutrofização das águas	
		Proliferação de macrófitas aquáticas	
		Erosão das margens e a jusante da barragem	
		Redução do valor fertilizante da água efluente	
Biótico	Vegetação	Desaparecimento de áreas florestais e de outras formações vegetais	
		Decomposição da biomassa submersa	
		Criação de impedimentos à navegação, à pesca e às atividades de lazer	
	Fauna terrestre	Redução da fauna	
		Alterações na composição da fauna	
		Deslocamento de animais durante o enchimento	
	Fauna aquática	Interrupção da migração de peixes	

MEIO	FATOR AMBIENTAL	IMPACTOS
		Alterações na composição da ictiofauna
		Mortandade de peixes a jusante da barragem
		Prejuízo a outros animais aquáticos
Antrópico	Situação demográfica rural e urbana	Transferência compulsória da população afetada
		Aumento da taxa de desemprego
		Problemas habitacionais durante a fase de construção da barragem
	Aspectos sociais e culturais	Desagregação das relações sociais
		Desarticulação dos elementos culturais
		Surgimento de situações de apreensão e insegurança, em face da incerteza das futuras condições de vida
		Surgimento de choques entre a população local e o contingente alocado à construção
	Populações indígenas	Transferência compulsória de populações indígenas
		Desagregação da organização social vigente
		Desarticulação dos elementos culturais
	Núcleos populacionais	Inundação de áreas urbanas
		Alterações na rede de polarização regional
		Criação de pólos de atração com o conseqüente aumento da demanda de serviços e equipamentos sociais
		Quebra de comunicação, com o conseqüente isolamento de pólos de abastecimento e comercialização
	Infra-estrutura regional	Interrupção do sistema viário, incluindo rodovias, ferrovias, hidrovias e aeroportos
		Segmentação do sistema de transmissão e distribuição de energia elétrica
		Segmentação do sistema de telecomunicações
	Atividades econômicas: setor primário	Desorganização das atividades agrícolas e pesqueiras
		Perda de áreas agrícolas, com o conseqüente decréscimo da produção de alimentos e outros produtos agropecuários

MEIO	FATOR AMBIENTAL	IMPACTOS
	Atividades econômicas: setor secundário	Aumento da taxa de desemprego rural
		Desorganização das atividades industriais
		Paralisação ou redução na produção de unidades industriais, em virtude da inundação ou da falta de matéria-prima
		Aumento da taxa de desemprego industrial
	Atividades econômicas: setor terciário	Desorganização das atividades comerciais e de serviços
		Redução das atividades do setor terciário, em consequência da queda de produção nos setores agrícola e industrial
		Aumento da taxa de desemprego no setor
		Prejuízo às finanças municipais
	Saúde pública	Surgimento de focos de moléstias diversas
		Disseminação de moléstias endêmicas da região
		Importação e disseminação de novas morbidades
		Acidentes com a população local e com o pessoal alocado às obras
		Colapso da rede médico hospitalar
		Acessibilidade ao serviço de saúde
	Educação, recreação e lazer	Aumento da demanda por escolas
		Maior procura por centros de recreação e lazer
		Acessibilidade a educação, recreação e lazer
	Patrimônio cultural, histórico, arqueológico e paisagístico	Desaparecimento de prédios e sítios com valor cultural e histórico
		Desaparecimento de prédios e sítios com valor arqueológico e paisagístico

Fonte: Farias e Lemos (2006).

3.12 ASPECTOS LEGAIS E NORMATIVOS ASSOCIADOS A BARRAMENTOS

Neste capítulo, apresenta-se um panorama das principais diretrizes legais que orientam os processos ambientais no Brasil.

A água desempenha múltiplas funções, seja para atendimento das necessidades básicas humanas, animais e para a manutenção dos ecossistemas, seja como insumo na maioria dos processos produtivos. Estas múltiplas atribuições e conotações da água, devido ao seu caráter indispensável à vida, tornam essencial a normatização do seu uso, com uma legislação específica e atuação efetiva do poder público (ANA, 2013).

No século XXI houve a formação da conscientização ambiental de forma globalizada, principalmente ao longo das décadas de 1970 e 1980, o que culminou com a consolidação do referencial para gestão ambiental e de recursos hídricos de forma jurídica e institucional no Brasil (Cruz *et al.*, 2019). De forma que é instituída a Lei Federal nº 6.938 em 31 de agosto de 1981, a qual trata sobre a Política Nacional de Meio Ambiente e introduz a Avaliação de Impactos Ambientais (AIA) como uma das ferramentas para gestão e proteção ambiental no país (Brasil, 1981). Assim como, em 1986, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) institui a AIA através de sua Resolução nº 01, a qual especifica os estudos de impactos ambientais prévios à implantação de obras com potencial de impacto ao meio ambiente, como os barramentos.

3.12.1 Lei Federal nº 9.433/1997

A Lei Federal nº 9.433, promulgada em oito de janeiro de 1997, em seu artigo primeiro, incisos I e II, atribui à água os status de bem de domínio público, recurso natural escasso e possuidor de valor econômico (Brasil, 1997). Além disso, a referida Lei institui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), a qual delineia os mecanismos para a gestão dos recursos hídricos de domínio federal. E ainda em seu artigo primeiro, inciso III, determina que, em situações de escassez, a prioridade de utilização dos recursos hídricos deve ser destinada ao consumo humano e à dessedentação de animais, conforme um dos princípios fundamentais da Política Nacional de Recursos Hídricos (Brasil, 1997).

Associada a esta, a Lei Federal nº 9.984, promulgada em 17 de julho de 2000, criou a Agência Nacional de Águas (ANA) com o objetivo de implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos e coordenar o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Um dos instrumentos da PNRH, conforme mencionado na Lei Federal nº 9.433/97 em seu artigo quinto, são os Planos de Recursos Hídricos. Estes

são planos diretores que visam a fundamentar e orientar a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e o gerenciamento dos recursos hídricos (Brasil, 1997). Esses planos são elaborados por unidade de bacia hidrográfica, assim como o Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas, objeto deste trabalho.

Ainda, a Lei n° 9.433 (Brasil, 1997) estabelece, em seu artigo 12, os usos de recursos hídricos que estão sujeitos à outorga pelo Poder Público, a saber:

- j) Derivação ou captação de parcela da água existente em um corpo de água para consumo final, inclusive abastecimento público, ou insumo de processo produtivo;
- k) Extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo;
- l) Lançamento, em corpo de água, de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final;
- m) Aproveitamento dos potenciais hidrelétricos;
- n) Outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água.

Portanto, a competência para outorgar o uso de recursos hídricos é o Poder Público. Assim sendo, a Lei Federal n° 9.433 (Brasil, 1997) explicita, em seu artigo 29, a competência do Poder Executivo Federal para a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos e, posteriormente, no artigo 30, estabelece que os Poderes Executivos estaduais e do Distrito Federal também têm competência para conceder tais direitos ao implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos, na esfera de sua competência (Brasil, 1997).

Em decorrência da outorga, o órgão público competente assume responsabilidades civil, administrativa e criminal, conforme estipulado nos artigos 29, II e 30, I, da Lei Federal n° 9.433 (Brasil, 1997), incluindo a regulamentação e fiscalização dos usos. Se esses órgãos identificarem situações descritas no artigo 15 da Lei de Política Nacional de Recursos Hídricos, como o não cumprimento dos termos da outorga, a necessidade de prevenir ou reverter grave degradação ambiental, a ausência de uso por três anos consecutivos, entre outras, a outorga do direito de uso de recursos hídricos poderá ser suspensa, total ou parcialmente, por um período determinado ou indefinidamente.

Há de se salientar, no entanto, a diferença entre a outorga para a construção da barragem e a outorga para a captação de recursos hídricos no reservatório criado pela construção da barragem. Muitas vezes as barragens são construídas apenas para a regularização da vazão do curso d'água, sem a instalação de um sistema de captação de águas. Neste caso, a obrigatoriedade da outorga dar-se-á unicamente pela alteração no regime hídrico natural do curso d'água devido à implantação da estrutura. Porém, geralmente, no próprio reservatório oriundo do barramento do curso d'água há a instalação de estruturas para captação direta de águas superficiais. Nesses casos, o órgão ambiental competente concede ou autoriza “captação em barramento em curso d'água, com regularização de vazão”, englobando assim, em uma única outorga, as ações de barramento e captação de águas públicas no curso d'água (Mafra; De Souza, 2018).

3.12.2 Planos de bacia hidrográfica

A elaboração dos Planos de Bacia Hidrográfica ocorre de forma descentralizada, ou seja, são decididos e aprovados pelos Comitês de Bacia em cada unidade de bacia hidrográfica. Os comitês são compostos por instituições integrantes do sistema de recursos hídricos e compostas por integrantes dos usuários da água, representante das populações da bacia e representantes dos órgãos da administração direta federal e estadual com atuação relacionada com os recursos hídricos. Em essência, por se constituírem em fóruns de decisão no âmbito de cada bacia hidrográfica, funcionam como um parlamento das águas da bacia (Garrido, 1999).

Os Planos de Bacia Hidrográfica são instrumentos que contêm as decisões, tomadas em um processo de gestão descentralizada e participativa, relativas ao desenvolvimento regional considerando os “demais planos, programas, projetos e estudos existentes relacionados à gestão ambiental, aos setores usuários, ao desenvolvimento regional, ao uso do solo, à gestão dos sistemas estuarinos e zonas costeiras, incidentes na área de abrangência das respectivas bacias hidrográficas” (ANA, 2013).

De acordo com Cruz e Silveira (2019), um Plano de Bacia Hidrográfica deve compreender:

- Diagnóstico contendo caracterização da bacia em seus aspectos físicos, bióticos, socioeconômicos, políticos e culturais, assim como infraestrutura

hídrica, de saneamento ambiental, da rede de monitoramento quali-quantitativa dos recursos hídricos, do quadro institucional e legal (incluindo identificação de políticas, planos, programas e projetos setoriais que interfiram nos recursos hídricos), bem como o respectivo estágio de implementação da Política de Recursos Hídricos e da identificação dos atores relevantes para a gestão;

- Balanço entre as disponibilidades hídricas quali-quantitativas e as demandas, atuais e futuras, com a identificação dos conflitos potenciais por meio de cenarização de tendências futuras;
- Identificação de medidas gerais de prevenção, ou mitigação das situações críticas identificadas, para melhorar e aumentar a disponibilidade hídrica, a qualidade e a respectiva utilização (essas medidas incluem obras, programas de desenvolvimento institucional, tecnológico, gerencial, de monitoramento, de educação ambiental, normas e programas de proteção ambiental, tais como zoneamentos urbano e rural, identificação de áreas a serem protegidas etc.);
- Diretrizes e prioridades para outorga do direito de uso das águas;
- Diretrizes e cenários para cobrança de uso das águas, a qual tem por finalidade o financiamento dos programas e das intervenções contemplados nos planos.

Na elaboração de um Plano de Bacia Hidrográfica é onde enquadra-se a questão de estudos de alternativas locais e critérios ambientais para implantação de barramentos na unidade, pois as alterações ambientais de diferentes graus de intensidade ocorrem como consequência de obras e de sua entrada em operação. Por essa razão, obras desse cunho devem ser inventariadas em princípios sustentáveis dentro do indissociável espaço ambiental, sendo a unidade básica de planejamento a bacia hidrográfica.

A elaboração do Plano de Bacia do Taquari-Antas (PBTA) teve como premissa auxiliar na identificação, quantificação e qualificação das águas desta bacia a fim de planejar o uso dos recursos hídricos. No PBTA realizado em 2012, foram elaborados um diagnóstico e um prognóstico dos recursos hídricos, assim como os cenários futuros para a gestão dos recursos hídricos e o enquadramento das águas superficiais da bacia.

3.12.3 Lei Estadual nº 10.350/1994

Por sua vez, a gestão dos recursos hídricos a nível Estadual é regida pelo ordenamento territorial, para cursos d'água que escoam desde sua nascente até a foz passando por apenas um Estado, com o propósito de harmonizar o desenvolvimento socioeconômico com a preservação ambiental, conforme estabelecido pela Lei Estadual nº 10.350, de 30 de dezembro de 1994 (Rio Grande do Sul, 1994), e previsto pelo Plano de Bacia Hidrográfica em legislação federal. A responsabilidade da coordenação da emissão do direito de uso da água e dos requerimentos no Estado do Rio Grande do Sul é do Departamento de Recursos Hídricos (DRH) da Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura do Estado do Rio Grande do Sul (SEMA).

A Política Estadual de Recursos Hídricos (PERH) é estabelecida por essa legislação, a qual, em seu artigo segundo, define o objetivo de promover a harmonização entre os diversos e competitivos usos dos recursos hídricos, considerando sua limitada e variável disponibilidade temporal e espacial, de modo a:

- I - Assegurar o prioritário abastecimento da população humana e permitir a continuidade e desenvolvimento das atividades econômicas;
- II - Combater os efeitos adversos das enchentes e estiagens e da erosão do solo;
- III - Impedir a degradação e promover a melhoria de qualidade e o aumento da capacidade dos corpos de água superficiais e subterrâneos, a fim de que as atividades humanas se processem em um contexto de desenvolvimento socioeconômico que assegure a disponibilidade dos recursos hídricos aos seus usuários atuais e às gerações futuras, em padrões quantitativa e qualitativamente adequados (Rio Grande do Sul, 1994).

Portanto, a gestão dos recursos hídricos pelo Estado se dará no quadro de ordenamento territorial, visando à compatibilização do desenvolvimento econômico e social com a proteção do meio ambiente (Rio Grande do Sul, 1994), o que levou a outorga do direito de uso da água no Estado ser assegurada pelo Decreto Estadual nº 37.033, de 21 de novembro de 1996, o qual confere apenas o direito de uso da água, ficando o outorgado obrigado a cumprir as disposições da Lei Federal nº 9.433/1997, também de leis subsequentes e seus regulamentos, bem como a legislação ambiental, de controle de poluição e sanitária (Rio Grande do Sul, 1996).

Em seu artigo 29, a Lei Estadual nº 10.350 (Rio Grande do Sul, 1994) explica que qualquer empreendimento ou atividade que alterar as condições quantitativas e/ou qualitativas das águas, superficiais ou subterrâneas, observando o Plano Estadual de Recursos Hídricos e os Planos de Bacia Hidrográfica, dependerá de

outorga. E caberá ao Departamento de Recursos Hídricos a emissão de outorga para os usos que alterem as condições quantitativas das águas.

Especificamente com relação às barragens, a Resolução n° 37 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) estabelece a regulamentação da outorga para o uso dos recursos hídricos na implementação de barragens. Esta resolução inclui dispositivos relativos à segurança das barragens e regras operativas que consideram os usos múltiplos, observando os planos de bacia e as demandas de usos atuais e futuros. Por meio da outorga, o Poder Público autoriza o usuário, sob condições previamente definidas, a utilizar ou interferir nos recursos hídricos necessários à sua atividade, garantindo o acesso a esses recursos.

3.12.4 Decreto Estadual n° 54.931/2016

A Lei Federal n° 10.350, de 30 de dezembro de 1994, determina que, ao outorgar acumulações de água em reservatórios, o órgão ambiental deve avaliar o impacto sobre o regime e a disponibilidade quantitativa dos corpos d'água (Brasil, 1994). O Decreto Estadual n° 54.931, de 07 de março de 2016, dispõe sobre os procedimentos para a outorga do direito de uso da água e obtenção de alvará de obra de reservatórios em empreendimentos de irrigação, bem como sobre procedimentos para acompanhamento da Segurança de Barragens no Rio Grande do Sul (Rio Grande do Sul, 2016).

Para o referido Decreto, o conceito de barragem é definido como “qualquer estrutura artificial de terra, de alvenaria, de concreto simples ou armado, localizada em um curso d'água superficial permanente ou intermitente, excluídos aqueles de características efêmeras, para fins de contenção ou acumulação de água, devendo ser constituído de mínimo maciço e vertedouro, podendo a sua área alagada atingir Área de Preservação Permanente - APP”. O Decreto Estadual n° 54.931/2016 também traz outros conceitos relevantes ao objeto deste trabalho como (Rio Grande do Sul, 2016):

- **Reservatório artificial:** Acumulação não natural de água definida neste Decreto como açudes ou barragens;
- **Bacia de acumulação ou bacia hidráulica:** Área alagada pelo represamento das águas e mensurada de acordo com a lâmina de água correspondente à cota da soleira do vertedouro;

- **Bacia contribuinte ou de captação:** Área de terra delimitada pelos divisores de águas que contribui para alimentar os cursos d'água ou reservatórios, sejam naturais ou artificiais;
- **Curso d'água ou curso hídrico:** Corpo de água lótico que possui naturalmente escoamento superficial por calha natural, retificada ou não, a partir de terreno mais elevado em direção ao local mais baixo, recebendo contribuição de nascentes perenes e/ou intermitentes, podendo ser:
 - **perenes ou permanentes:** aqueles que mantêm água em sua calha durante todo o período do ano, ainda que com grandes variações de vazão, sendo alimentadas pelo lençol de águas subterrâneas mesmo em períodos de estiagens prolongadas;
 - **intermitentes:** aqueles que mantêm água em sua calha durante maior parte do ano, permanecendo secos durante períodos curtos e sendo alimentados pelo lençol de águas subterrâneas durante o período em que este aflora e quando se encontra suficientemente alto;
 - **efêmeros:** aqueles que mantêm água em sua calha apenas durante, ou imediatamente após, os períodos de precipitação e só transportam escoamento superficial;
- **Vertedouro, sangradouro, ladrão ou aliviador:** Estrutura destinada a permitir o escoamento das águas excedentes ao nível normal do reservatório;
- **Maciço ou taipa:** Construção física que objetiva a formação de uma bacia de acumulação de água;
- **Nível normal:** Nível correspondente ao máximo aproveitamento útil do reservatório, correspondente ao nível da soleira livre do vertedouro;
- **Volume armazenado:** Quantidade de água armazenada até o nível normal;
- **Sobre-elevação:** Altura da água acima do nível normal à soleira livre do vertedouro e correspondente descarga máxima prevista para os vertedouros;
- **Nível máximo:** Nível d'água no reservatório correspondente ao nível normal acrescido de sobre-elevação;
- **Orla de segurança ou revanche:** Distância entre a crista do maciço e o nível normal da água;

- **Curva de capacidade ou de volume:** Representação gráfica da relação entre os diferentes níveis de água e os correspondentes volumes armazenados na bacia de acumulação;
- **Segurança de barragem:** Condição que visa manter a integridade estrutural e operacional da barragem, bem como a preservação da vida, da saúde, da propriedade e do meio ambiente;
- **Empreendedor:** Agente privado ou governamental com direito sobre as terras onde se localiza o empreendimento, reunindo em si a responsabilidade pelo uso da água para as atividades que façam uso de açudes ou barragens (Redação alterada pelo Decreto nº 54.165, de 26 de julho de 2018);
- **Empreendimento:** Conjunto de infraestruturas e atividades desenvolvidas em uma determinada área física pelo empreendedor;
- **Órgão fiscalizador:** Autoridade do poder público responsável pelas ações de fiscalização ambiental do empreendimento, da segurança e uso dos reservatórios, de acordo com as suas competências;
- **Gestão de risco:** Ações de caráter normativo, bem como aplicação de medidas para a prevenção, o controle e a mitigação de riscos;
- **Dano potencial associado à barragem:** Dano que pode ocorrer devido a rompimento, vazamento, infiltração no solo ou mau funcionamento de uma barragem, estabelecido conforme critérios gerais do Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH.
- **Categoria de risco:** Classificação das barragens pelo órgão ambiental competente em função de seu dano potencial associado e volume.
- **Reserva de Disponibilidade Hídrica e Outorga de Direito de Uso da Água:** Atos administrativos mediante os quais o Poder Público concede o direito de uso dos recursos hídricos para um ente público ou privado, nos termos e condições estabelecidas no referido ato para diferentes finalidades.

O Decreto Estadual nº 54.165, de 26 de julho de 2018, define a dispensa de outorga do direito de uso da água e consequentemente dispensados de Reserva de Disponibilidade Hídrica, conforme critérios de outorga estabelecidos pelo CRH/RS dá-se em barragens com volume armazenado de até três milhões de metros cúbicos de água (Rio Grande do Sul, 2018). Para barragens com volume reservado maior do que

três milhões de metros cúbicos deverá ser seguido a seguinte ordem de procedimentos de outorga, segundo artigo 5 do referido Decreto (Rio Grande do Sul, 2018):

- I - a Reserva de Disponibilidade Hídrica ou sua dispensa;
- II - a Licença Prévia do empreendimento;
- III - a Autorização Prévia para Construção ou sua dispensa;
- IV - a Outorga do Direito de Uso da Água ou sua dispensa;
- V - a Licença de Instalação do empreendimento;
- VI - o Alvará da Obra; e
- VII - a Licença de Operação do empreendimento.

Também, no caso de barragens, deverá ser mantida uma vazão mínima a jusante da barragem, igual ou superior a 50% do valor da Q_{90} (vazão com probabilidade de ocorrência ou superação em 90% do tempo) ou outro referencial a ser indicado pelo Comitê de Bacia (Rio Grande do Sul, 2018).

3.12.5 Resolução CONAMA n° 357/2005

O enquadramento dos corpos hídricos é um recurso de gestão que visa assegurar que a qualidade da água atenda às necessidades conforme estabelecido pela Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). Através dessa classificação, é possível exercer um maior controle com relação a poluição e avaliação da evolução da qualidade dos corpos d'água, garantindo que a qualidade da água esteja de acordo com sua utilização (Porto, 2008). Ou seja, a água começa a ser classificada desde seu uso mais nobre, como para consumo, até níveis menos nobres e pode ser considerado como um pacto social se a definição dos anseios da comunidade, muitas vezes conflitantes, for expresso em metas de qualidade de água (Brasil, 1997).

O objetivo do enquadramento é classificar os corpos de água, utilizando-se como base de suporte de informação as classes estabelecidas pela Resolução CONAMA n° 357/05. Para isso são considerados os cenários atuais dos recursos hídricos superficiais, ideais e factíveis. Outra função do enquadramento é auxiliar o PNRH no sentido da manutenção de espaços com uso restrito com o objetivo de garantir a manutenção de ecossistemas, protegendo fauna, flora, dentre outros recursos ambientais (Brasil, 2005).

De acordo com a Lei Federal n° 9.433/97 em seu artigo 44, inciso XI, compete às Agências de Água propor aos Comitês de Bacia Hidrográfica o enquadramento dos corpos de água nas classes de uso, para encaminhamento ao Conselho Nacional ou

Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos, de acordo com o domínio (federal ou estadual) destes. A Lei nº 9.433/97 também estabelece, em seu artigo 9 que o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os seus usos preponderantes, visam assegurar a qualidade das águas de acordo com seus diversos usos, inclusive humano, diminuindo os custos com despoluição mediante ações preventivas e contínuas (Brasil, 1997).

A Resolução CONAMA nº 357/2005 classifica e enquadra os corpos d'água superficiais. Para os corpos de águas doces, de acordo com o artigo 4, as classes são definidas em: classe especial, classe 1, classe 2, classe 3 e classe 4. Sendo que para cada classe existe um conjunto definido de usos da água, a saber:

As águas doces são classificadas em: I - classe especial: águas destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção;
- b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e,
- c) à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.

II - classe 1: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000;
- d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película;
- e) à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.

III - classe 2: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA nº 274, de 2000;
- d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e
- e) à aquicultura e à atividade de pesca.

IV - classe 3: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;
- b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;
- c) à pesca amadora;
- d) à recreação de contato secundário; e
- e) à dessedentação de animais.

V - classe 4: águas que podem ser destinadas:

- a) à navegação; e
- b) à harmonia paisagística.

Para este estudo, direcionou-se a seleção locacional para rios classificados com as classes 1, 2 e 3, que podem ser direcionadas ao consumo humano após, respectivamente, tratamento simplificado e tratamento convencional. Desta forma, é necessário que os VMP adotados para essas classes estejam em harmonia com as outras regulamentações brasileiras que utilizam padrões para consumo humano, tais

como o da Portaria GM/MS nº 888/2021, e as Resoluções CONAMA nº 396/2009 e CONAMA nº 420/2009.

3.12.6 Lei Federal nº 12.334/2010

Com relação à segurança de barramentos, no Brasil a legislação ainda é recente. Cita-se a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), estabelecida através da Lei Federal nº 12.334, em 20 de setembro de 2010 (Brasil, 2010), e alterada pela Lei Federal nº 14.066, de 30 de setembro de 2020. A primeira cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB) atribuindo a responsabilidade para a ANA. Ainda, determina a responsabilidade dos órgãos fiscalizadores e dos empreendedores pela segurança da obra e do ambiente, bem como definido pelas Resoluções nº 143 e 144 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH).

As duas legislações são indissociáveis e destinam-se a garantir a segurança não apenas da estrutura, mas também de todo o vale a jusante. De acordo com o artigo 1, estas leis aplicam-se às barragens destinadas à acumulo de água para quaisquer usos, contudo, devem necessariamente apresentar uma das seguintes características (Brasil, 2020):

- I - Altura do maciço, medida do encontro do pé do talude de jusante com o nível do solo até a crista de coroamento do barramento, maior ou igual a 15 (quinze) metros;
- II - Capacidade total do reservatório maior ou igual a 3.000.000 m³ (três milhões de metros cúbicos);
- III - Reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis;
- IV - Categoria de dano potencial associado médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas, conforme definido no artigo 7 da Lei Federal nº 14.066/2020;
- V - Categoria de risco alto, a critério do órgão fiscalizador, conforme definido no artigo 7 da Lei Federal nº 14.066/2020.

A classificação quanto ao dano potencial associado se dá através da Resolução nº 143, de 2012 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). A qual em seu artigo 5 definiu critérios gerais a serem utilizados para a classificação como sendo:

- I - Existência de população a jusante com potencial de perda de vidas humanas;
- II - Existência de unidades habitacionais ou equipamentos urbanos ou comunitários;
- III - Existência de infraestrutura ou serviços;
- IV - Existência de equipamentos de serviços públicos essenciais;
- V - Existência de áreas protegidas definidas em legislação;
- VI - Natureza dos rejeitos ou resíduos armazenados; e

VII - Volume.

Ainda, a referida Lei expressa em seu artigo 7, que a classificação das barragens quanto ao risco será determinada considerando várias características, como as técnicas, os métodos de construção, o estado de conservação, a idade da estrutura e a conformidade com o Plano de Segurança de Barragem, bem como outros critérios definidos pelo órgão fiscalizador. Para barragens com potencial de risco médio ou alto, ou com alto risco conforme avaliação do órgão fiscalizador, é obrigatória a elaboração de um Plano de Ação e Emergência (PAE) (Brasil, 2020). Adicionalmente, qualquer barragem que não atenda aos requisitos de segurança conforme a legislação vigente deverá ser recuperada, desativada ou descaracterizada pelo seu empreendedor, que também deverá informar ao órgão fiscalizador as medidas adotadas.

Já a PNSB visa garantir a observância de padrões de segurança de barragens de maneira a fomentar a prevenção e a reduzir a possibilidade de acidente ou desastre e suas consequências. Também regulamenta as ações de segurança a serem adotadas em todas as fases do empreendimento (Brasil, 2020). Para tanto, a Lei Federal nº 12.334/2010 determina que as barragens serão classificadas pelos agentes fiscalizadores, por categoria de risco, por dano potencial associado e pelo seu volume, com base em critérios gerais estabelecidos pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH).

3.13 ESTUDOS E FASES DE DESENVOLVIMENTO DE PROJETO DE BARRAMENTO

Segundo Marques Filho e Geraldo (1998), a partir de 1997 com o marco do ordenamento da Lei das Águas as etapas de estudo para obras de barramento passaram para cinco, permitindo que haja a aprovação das alternativas selecionadas como parte do Plano de Bacia. O Quadro 5 apresenta a proposta elaborada por Cruz e Silveira (2019) com as cinco fases de estudo das barragens e respectiva correspondência lógica da necessidade de obtenção das licenças ambientais.

Quadro 5 - Etapas de estudo para obras de barramento.

ETAPA		ABRANGÊNCIA
1	Inventário	Toda a bacia hidrográfica
2	Plano de bacia	Toda a bacia hidrográfica
3	Viabilidade	Um local barrável
4	Projeto básico	O local da obra
5	Projeto executivo	O local da obra
	Regras operativas	O local da obra

Fonte: Adaptado de Cruz e Silveira (2019).

Segundo Marques Filho e Geraldo (1998), os estudos que compreendem a fase de inventário são de natureza ampla, regional, abrangendo um rio inteiro ou uma bacia hidrográfica. Estes são realizados a partir de dados existentes e levantamentos bibliográficos, complementados com informações de campo e pautados em estudos básicos como hidrometeorológicos, bióticos, geológicos, pedológicos, hidroagrícolas, energéticos e/ou outros usos da água. Como resultado, tem-se a apresentação de um conjunto de alternativas com suas principais características constituída de um trecho de rio, ficando o detalhamento da localização exata da obra para fases posteriores de projeto (Cruz; Silveira, 2019). Como também é nessa fase onde é inserida a avaliação ambiental integrada (MME, 2007).

A Resolução n° 145 do CNRH refere-se a fase de elaboração e aprovação do Plano de Bacia como a etapa na qual consideram-se “os demais planos, programas, projeto e estudos existentes relacionados à gestão ambiental, aos setores usuários, ao desenvolvimento regional, ao uso do solo, à gestão dos sistemas estuarinos e zonas costeiras, incidentes na área de abrangência das respectivas bacias hidrográficas” (CNRH, 2012). Dada a natureza do processo de planejamento em nível de bacia hidrográfica, o envolvimento de interação com o Comitê de Bacia na fase de desenvolvimento do inventário pode contribuir para antecipar a identificação das potencialidades dos usos múltiplos preconizados na bacia, de forma a antecipar prováveis conflitos de uso e respectiva construção das soluções mitigadoras (Cruz e Silveira, 2019).

A fase de viabilidade em projetos de barragens é onde cada alternativa aprovada no plano é avaliada para determinar sua viabilidade técnica, econômica e ambiental como também determinar a importância para as múltiplas possibilidades de

aproveitamento (Marques Filho e Geraldo, 1998). Nessa etapa os estudos caracterizam-se por análises técnicas e econômicas entre possíveis alternativas locais de eixo dentro de cada trecho inventariado, bem como de definição de diversos arranjos adequados de obras civis. Para isso, são detalhados os estudos hidrológicos, hidráulicos, geológicos, geotécnicos e topográficos; são feitas análises das obras de infraestrutura local e regional necessárias à sua implantação, do seu reservatório e respectiva área de influência; são realizados pré-dimensionamentos civis e eletromecânicos; são quantificados os usos da água e identificadas e quantificadas as ações ambientais necessárias à mitigação dos impactos negativos da implantação da obra. O detalhamento dos estudos deve ser suficiente para permitir um adequado pré-dimensionamento das obras e ações que devem ser implementadas, de tal modo que possibilite, com segurança, processar as análises comparativas entre as diversas alternativas, uma vez que o arranjo mais vantajoso sob o ponto de vista técnico, econômico e ambiental é o objetivo de detalhamento na fase seguinte (Cruz e Silveira, 2019).

O projeto básico constitui a fase final de definição da obra, onde ocorre o detalhamento completo, dimensionamentos precisos, elaboração de memoriais descritivos, especificações técnicas, plantas e cortes das estruturas e equipamentos permanentes (Cruz e Silveira, 2019). Nesta etapa, realiza-se também, o Projeto Básico Ambiental (MME, 2007).

Já o projeto executivo corresponde ao detalhamento refinado do projeto básico, incluindo a elaboração de desenhos detalhados de obras civis, equipamentos hidromecânicos e eletromecânicos necessários à execução da obra e montagem dos equipamentos (Cruz e Silveira, 2019). Nesta etapa, são tomadas todas as medidas pertinentes à implantação do reservatório (Marques Filho e Geraldo, 1998). São considerados como integrantes desta fase os estudos de estabelecimento das regras operativas da barragem, os quais são realizados em paralelo com o detalhamento da obra (Cruz e Silveira, 2019).

3.14 LICENCIAMENTO AMBIENTAL

De acordo com a Lei Federal nº 6.803 (Brasil, 1980), o Decreto nº 99.274 (Brasil, 1990), a Resolução CONAMA nº 01 (Brasil, 1986) e a Resolução CONAMA nº 237 (Brasil, 1997), o licenciamento ambiental no Brasil está organizado em três fases:

Licença Prévia (LP), Licença de Instalação (LI) e Licença de Operação (LO). As licenças ambientais poderão ser expedidas isoladas ou sucessivamente, de acordo com a natureza, características e fase do empreendimento ou atividade. Em seu artigo 8 a Resolução CONAMA nº 237 define que o Poder Público, no exercício de sua competência de controle, expedirá as respectivas licenças:

- I - Licença Prévia (LP) - concedida na fase preliminar do planejamento do empreendimento ou atividade aprovando sua localização e concepção, atestando a viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos e condicionantes a serem atendidos nas próximas fases de sua implementação;
- II - Licença de Instalação (LI) - autoriza a instalação do empreendimento ou atividade de acordo com as especificações constantes dos planos, programas e projetos aprovados, incluindo as medidas de controle ambiental e demais condicionantes, da qual constituem motivo determinante;
- III - Licença de Operação (LO) - autoriza a operação da atividade ou empreendimento, após a verificação do efetivo cumprimento do que consta das licenças anteriores, com as medidas de controle ambiental e condicionantes determinados para a operação (CONAMA, 1997).

Via de regra, o licenciamento ambiental compete aos Estados, sendo destinado à União ou aos Municípios apenas em casos específicos, estabelecidos no artigo 7 e no artigo 9 da Lei Complementar nº 140/2011 (Brasil, 2011). Portanto, no âmbito estadual, para licenciamento, o Decreto Estadual nº 54.931 (Rio Grande do Sul, 2019) adota as seguintes definições:

- XXIX - Autorização Prévia - AP: Documento concedido pelo Poder Público ao empreendedor que possibilita a execução de um projeto básico de engenharia que vise à implantação de reservatórios artificiais de água, o qual deverá ser substituído ao final da construção pelo Alvará da Obra;
- XXX - Alvará de Construção: Documento final concedido pelo Poder Público ao empreendedor que atesta a regularidade da construção de um reservatório artificial de água, a partir da análise da documentação técnica entregue pelo empreendedor;
- XXXI - Licenciamento Ambiental: Procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou daquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental, considerando as disposições legais e regulamentares e as normas técnicas aplicáveis ao caso;
- XXXII - Licença Prévia - LP: Concedida na fase preliminar do planejamento do empreendimento ou atividade aprovando a sua localização e concepção, atestando a viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos e condicionantes a serem atendidos nas próximas fases de sua implementação;
- XXXIII - Licença de Instalação - LI: Autoriza a instalação do empreendimento ou atividade de acordo com as especificações constantes dos planos, dos programas e dos projetos aprovados, incluindo as medidas de controle ambiental e demais condicionantes, da qual constituem motivo determinante;
- XXXIV - Licença de Operação - LO: Autoriza a operação da atividade ou empreendimento, após a verificação do efetivo cumprimento do que consta das licenças anteriores, com as medidas de controle ambiental e condicionantes determinados para a operação (Rio Grande do Sul, 2019).

Mediante a manifestação de intenção de licenciar um empreendimento em um determinado local, o órgão ambiental competente determina, com base na legislação específica e nas diretrizes ambientais do órgão, a necessidade de estudos necessários para obtenção de cada licença. As barragens necessitam de licenciamento ambiental, o qual só é concedido após estudos ambientais que, dependendo do porte da obra, podem necessitar de EIA/RIMA ou compor-se de estudos básicos simplificados (Cruz; Silveira, 2019). Para barragens de grande porte e impacto, a Resolução CONAMA n° 06 (Brasil, 1987) exige estudos para o licenciamento ambiental, os quais são resumidos no Quadro 6.

Quadro 6 - Estudos exigidos para licenciamento ambiental de barragens de grande impacto ambiental.

TIPO DE LICENÇA	ESTUDOS EXIGIDOS
Licença Prévia	EIA/RIMA
Licença de Instalação	Plano (ou projeto) Básico Ambiental
Licença de Operação	Relatórios de Execução dos Programas Ambientais
Renovação de Licença de Operação	Relatórios de Execução dos Programas Ambientais e/ou das exigências constantes na licença de operação anterior

Fonte: Adaptado de Cruz e Silveira (2019) com base no CONAMA n° 06 (1987).

Com base no inciso VII do artigo 2 da Resolução Conama n° 01/1986, todas as barragens destinadas ao abastecimento estão sujeitas à exigência obrigatória de EIA/RIMA para o processo de licenciamento ambiental:

VII - Obras hidráulicas para exploração de recursos hídricos, tais como: barragem para fins hidrelétricos, acima de 10MW, de saneamento ou de irrigação, abertura de canais para navegação, drenagem e irrigação, retificação de cursos d'água, abertura de barras e embocaduras, transposição de bacias, diques (CONAMA, 1986).

As barragens licenciáveis, portanto, passíveis de EIA/RIMA, são aquelas de médio ou grande porte.

3.15 INTERVENÇÕES EM ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE

A construção e operação de barragens em cursos d'água naturais geram, inevitavelmente, o aumento do nível das águas no local intervindo e, conseqüentemente, a destruição das áreas ripárias dos corpos d'água. Destarte, têm-

se ainda os danos ocasionados pelas próprias ações mecânicas da construção das estruturas físicas das barragens como soterramento de vegetação e alteração das condições topográficas dos terrenos (Maffra; De Souza, 2018).

As faixas marginais dos cursos d'água naturais são consideradas áreas de preservação permanente (APPs) nas dimensões estabelecidas pelo artigo 4 da Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que instituiu o Novo Código Florestal Brasileiro (Brasil, 2012). As APPs, segundo o artigo 3 da referida lei é definido como:

Área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (Brasil, 2012).

Por se tratar de espaços territorialmente protegidos, as intervenções em APPs somente poderão ocorrer nas hipóteses de utilidade pública, interesse social ou baixo impacto ambiental (Brasil, 2012). Para a referida Lei, atividades de interesse social são, entre outros, “a implantação de instalações necessárias à captação e condução de água e de efluentes tratados para projetos cujos recursos hídricos são partes integrantes e essenciais da atividade” (Brasil, 2012). Desta forma, a construção de barragens para fins de abastecimento público tornou-se atividade de interesse social, sendo, portanto, passível de autorização para intervenção em APP. Em consonância, a Resolução CONAMA nº 369/2006 em seu artigo 2, define que o órgão ambiental competente poderá autorizar a supressão de vegetação de APP, quando houver um caso de utilidade pública, como “obras essenciais de infraestrutura destinadas aos serviços públicos de transporte, saneamento e energia” (Brasil, 2006).

A competência para autorização de intervenção em APP é dos Estados, com exceção dos casos situados em áreas urbanas, onde cabe ao município (Brasil, 2012). No Estado do Rio Grande do Sul, a Lei Estadual nº 15.434 de 9 de janeiro de 2020 considera as APPs como:

Áreas protegidas, cobertas ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (Rio Grande do Sul, 2020).

No entanto, embora passível de autorização, a intervenção ambiental em APPs para a construção de barragens pode ser impedida pela existência de outras normas legais, como por exemplo, aquelas que determinam espécies legalmente protegidas nos territórios estadual ou nacional. No caso da presença dessas espécies, a

autorização para intervenção em APP deverá considerar os casos perante os quais a supressão e o corte desses indivíduos protegidos são possíveis (Maffra; De Souza, 2018).

Em relação aos reservatórios de barragens, a Resolução CONAMA n° 302 (Brasil, 2002) estabelece parâmetros, definições e limites para as APPs de reservatórios artificiais. No artigo 3, a Resolução determina que constitui APP a área com largura mínima, em projeção horizontal, no entorno dos reservatórios artificiais, medida a partir do nível máximo normal de:

- I – Trinta metros para os reservatórios artificiais situados em áreas urbanas consolidadas e cem metros para áreas rurais;
- II - Quinze metros, no mínimo, para os reservatórios artificiais de geração de energia elétrica com até dez hectares, sem prejuízo da compensação ambiental;
- III - Quinze metros, no mínimo, para reservatórios artificiais não utilizados em abastecimento público ou geração de energia elétrica, com até vinte hectares de superfície e localizados em área rural (Brasil, 2002).

3.16 SÍNTESE DE ASPECTOS LEGISLATIVOS

O Quadro 7 apresenta uma síntese de aspectos de caráter legislativo os quais possuem relação direta com o objeto deste trabalho.

Quadro 7 - Síntese de aspectos legislativos.

ESFERA	INSTRUMENTO	DEFINIÇÃO
Federal	Lei Federal n° 6.938, de 31 de agosto de 1981	Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências
	Resolução CONAMA n° 01, de 23 de janeiro de 1986	Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental
	Resolução CONAMA n° 06, de 16 de setembro de 1987	Dispõe sobre o licenciamento ambiental de obras do setor de geração de energia elétrica
	Constituição da República Federativa do Brasil de 1988	
	Lei Federal n° 9.433, de 8 de janeiro de 1997	Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1° da Lei n° 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei n° 7.990, de 28 de dezembro de 1989

ESFERA	INSTRUMENTO	DEFINIÇÃO
	Lei Federal nº 9.984, de 17 de julho de 2000	Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, integrante do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Singreh) e responsável pela instituição de normas de referência para a regulação dos serviços públicos de saneamento básico. (Redação dada pela Lei nº 14.026, de 2020)
	Resolução CNRH nº 37, de 26 de março de 2004	Estabelece diretrizes para a outorga de recursos hídricos para a implantação de barragens em corpos d' água de domínio dos Estados, do Distrito Federal ou da União
	Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005	Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências
	Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008	Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências
	Resolução CONAMA nº 420, de 28 de dezembro de 2009	Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas
	Lei Federal nº 12.334, de 20 de setembro de 2010	Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4º da Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000
	Resolução CNRH nº 143, de 10 de julho de 2012	Estabelece critérios gerais de classificação de barragens por categoria de risco, dano potencial associado e pelo volume do reservatório, em atendimento ao art. 7º da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010
	Resolução CNRH nº 144, de 10 de julho de 2012	Estabelece diretrizes para implementação da Política Nacional de Segurança de Barragens, aplicação de seus instrumentos e atuação do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens, em atendimento ao art. 20 da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que

ESFERA	INSTRUMENTO	DEFINIÇÃO
		alterou o art. 35 da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997
	Resolução CNRH nº 178, de 29 de junho de 2016	Altera a Resolução CNRH nº 144, de 10 de julho de 2012, que “Estabelece diretrizes para implementação da Política Nacional de Segurança de Barragens, aplicação de seus instrumentos e atuação do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens, em atendimento ao art. 20 da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que alterou o art. 35 da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997
	Lei Federal nº 14.066, de 30 de setembro de 2020	Altera a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), a Lei nº 7.797, de 10 de julho de 1989, que cria o Fundo Nacional do Meio Ambiente (FNMA), a Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, e o Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 (Código de Mineração)
	Resolução CNRH nº 223, de 20 de novembro de 2020	Altera a Resolução CNRH nº 144, de 10 de julho de 2012, que estabelece diretrizes para implementação da Política Nacional de Segurança de Barragens, e dá outras providências
	Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021	Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade
	Resolução CNRH nº 230, de março de 2022	Estabelece diretrizes para fiscalização da segurança de barragens de acumulação de água para usos múltiplos
	Decreto nº 11.310, de 26 de dezembro de 2022	Regulamenta dispositivos da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, para dispor sobre as atividades de fiscalização e a governança federal da Política Nacional de Segurança de Barragens, institui o Comitê Interministerial de Segurança de Barragens e altera o Decreto nº 10.000, de 3 de setembro de 2019
ANA	Resolução nº 132, de 22 de fevereiro de 2016	Estabelece critérios complementares de classificação de barragens reguladas pela ANA, quanto ao Dano Potencial Associado - DPA
	Resolução nº 236, de 30 de janeiro de 2017 (alterada pela Resolução nº 121 de 9 de maio de 2022)	Estabelece a periodicidade de execução ou atualização, a qualificação dos responsáveis técnicos, o conteúdo mínimo e o nível de

ESFERA	INSTRUMENTO	DEFINIÇÃO
		detalhamento do Plano de Segurança da Barragem, das Inspeções de Segurança Regular e Especial, da Revisão Periódica de Segurança
	Resolução ANA nº 123, de 16 de dezembro de 2019	Delega competência para exame, decisão e classificação de barragens fiscalizáveis pela ANA
	Resolução ANA nº 24, de 20 de maio de 2020	Estabelece procedimentos acerca das atividades de fiscalização do uso de recursos hídricos e da segurança de barragens objeto de outorga em corpos d'água de domínio da União exercidas pela Agência Nacional de Águas
Estadual	Lei Estadual nº 10.350, de 30 de dezembro de 1994	Institui o Sistema Estadual de Recursos Hídricos, regulamentando o artigo 171 da Constituição do Estado do Rio Grande do Sul
	Decreto Estadual nº 37.033, de 21 de novembro de 1996	Regulamenta a outorga do direito de uso da água no Estado do Rio Grande do Sul, prevista nos artigos 29, 30 e 31 da Lei n.º 10.350, de 30 de dezembro de 1994
	Decreto nº 52.931, de 7 de março de 2016	Dispõe sobre os procedimentos para a Outorga do Direito de Uso da Água e obtenção de Alvará de Obra de Reservatórios em empreendimentos de irrigação, bem como sobre procedimentos para acompanhamento da Segurança de Barragens
	Portaria SEMA nº 136, de 29 de dezembro de 2017	Estabelece o conteúdo mínimo e o detalhamento do Plano de Segurança de Reservatórios de Acumulação de Água Açudes e Barragens, e a sua Revisão Periódica, bem como dá outras providências
	Decreto Estadual nº 54.165, de 7 de março de 2018	Altera o Decreto nº 52.931, de 7 de março de 2016, que dispõe sobre os procedimentos para a Outorga do Direito de Uso de Água e Obtenção de Alvará da Obra de Reservatórios em empreendimentos de irrigação, bem como sobre procedimentos para acompanhamento da Segurança de barragens

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

3.17 SELEÇÃO LOCACIONAL DE BARRAMENTOS

Segundo Cruz e Silveira (2019) o trabalho inicial de seleção de locais para projetos de barragens parte da definição de critérios gerais e restrições que norteiam a escolha de eixos de barramento, os quais estão relacionados a seguir:

- Conformação topográfica do terreno favorável à importação do barramento, procurando otimizar a relação entre as características físicas do eixo e as necessidades desse tipo de obra, buscando a maior capacidade de acumulação de água, com a menor extensão de barragem e área alagada possível;
- Área da bacia de contribuição de 100 km², ou próxima desse valor, quando identificados locais com características indicativas de grande potencial de utilização;
- Possibilidade de estabelecer a cota máxima do barramento, de forma a minimizar o número de obras de infraestrutura atingidas.

Para o atendimento de cada finalidade de barramento, tem-se algum tipo de padrão mínimo de arranjo geral que necessita adequar-se às características do meio local da bacia e do município, conforme capítulos 3.12.1 e 3.12.3, respectivamente. A escolha do local e do tipo de barragem está, sob os aspectos técnicos, fundamentalmente associada à finalidade da obra e às condições do meio físico da região e local objeto do estudo de implantação de um determinado empreendimento (Cruz; Silveira, 2019).

De acordo com estudo realizado pelo UFSM/MAPA (2002) optou-se por selecionar, dentro da macrorregião de abrangência do estudo, locais de barragens nas subáreas com cotas mais elevadas dos rios da região, uma vez que essas coincidem com as áreas mais planas, e são favoráveis à adaptação e implementação de programas de abastecimento. Porém, antes da escolha do local de um barramento, sob o aspecto técnico e dentro dos objetivos de estudos comparativos em várias bacias hidrográficas ou em diversos rios de uma bacia, antes de atender a qualquer um dos critérios técnicos específicos do meio físico local, deve-se atender aos pressupostos relativos à finalidade da barragem e às condições geomorfológicas da área objeto de planos de desenvolvimento regional (Cruz; Silveira, 2019).

Para fins de abastecimento, uma barragem deve, preferencialmente, estar localizada próxima ou a montante das comunidades a serem beneficiadas pelo reservatório (Cruz; Silveira, 2019).

3.17.1 Estabelecimento do conjunto de critérios de seleção locacional

Em uma seleção locacional que envolve análises comparativas multicritérios em áreas com características físicas diversas, faz-se necessário e conveniente estabelecer como primeiro critério de seleção do local de barragem a geomorfologia, em associação com a sua finalidade (Cruz; Silveira, 2019). Após atendidas as questões relativas aos aspectos socioeconômicos e ambientais e as associadas à finalidade da barragem e à geomorfologia da área, os outros fatores e condicionantes do meio físico que devem ser considerados na escolha da seleção locacional de barramentos, definidos por Cruz e Silveira (2019), são apresentados no Quadro 8, por critério de predileção.

Quadro 8 - Predileção de critérios para seleção locacional de barramentos.

NÍVEL DE PRIORIDADE	ASPECTO
1	Topografia
2	Morfologia do rio
3	Condições geológico-geotécnicas
4	Distância de transporte e a qualidade dos materiais de construção
5	Condições de fundações das estruturas de concreto (vertedouro, tomada de água e etc.)
6	Condições hidrológicas
7	Condições de desvio do rio

Fonte: Elaborado pela autora com base em Cruz e Silveira (2019).

Segundo Cruz e Silveira (2019) os aspectos selecionados por predileção no Quadro 8, são definidos como:

- a) Topografia: A topografia é o primeiro fator a ser considerado na escolha do local de barramento, sendo um critério a ser aplicado a partir da análise de cartas topográficas, fotografias aéreas e imagens de satélite. Com os elementos de visualização e análises das condições de visualização e

análise das condições topográficas, procura-se localizar o eixo da barragem em um local onde o vale do rio se apresenta o mais estreito possível, com o objetivo de minimizar os volumes de escavações e de aterros ou de concretos.

- b) Morfologia do rio: O arranjo geral de uma barragem está fundamentalmente relacionado à morfologia do rio, sendo este o segundo fator a ser considerado para seleção locacional de barramentos. As formas de relevo e a configuração do desenvolvimento de um curso de água são fatores importantes na definição de posicionamento das estruturas hidráulicas de desvio do rio, do vertedouro e da tomada de água.
- c) Condições geológico-geotécnicas: Buscam-se sempre locais com afloramentos de materiais rochosos para facilitar a implantação das estruturas de controle de vazões afluentes, como também para minimizar os custos com escavações dos solos de cobertura das fundações e de tratamentos de fundação. São analisados aspectos relativos à estanqueidade, à estabilidade, à deformabilidade da barragem e à sua fundação, aos tratamentos das fundações e às condições das fundações das estruturas de desvio e de controle de vazões.
- d) Distância de transporte e a qualidade dos materiais de construção: Deve-se buscar localizar o eixo da barragem o mais próximo das jazidas de materiais de construção, para minimizar os custos com o transporte de materiais de aterro ou com o fornecimento de agregados para o concreto.
- e) Condições de fundações das estruturas de concreto: Deve-se priorizar a locação dessas estruturas em locais com fundação resistente (rocha sã) e, assim, minimizar os custos com estruturas de dissipação, estabilização de taludes de cortes e tratamentos de fundação. Em locais com espessas coberturas de solos residuais, a combinação de vale com estreitamento, em geral, está associada a alguma condição favorável, sob os aspectos de fundação, em que pelo menos um trecho do eixo de barramento apresenta a ocorrência de afloramentos de rocha ou a pouca profundidade. Nessa situação, faz-se vantajosa a locação do vertedouro na zona com afloramento de rocha, mesmo que não seja o eixo de menor extensão.
- f) Condições hidrológicas: A incorporação ou não de mananciais a jusante de um determinado local de barramento muitas vezes está no foco dos estudos

de inventário e viabilidade. Sempre que possível, o eixo da barragem deve estar localizado a jusante da desembocadura de um afluente, para que se aproveite o seu deflúvio.

- g) Condições de desvio do rio: Para que se obtenha um esquema de desvio do rio otimizado, é importante que seja selecionado um local com feições geomorfológicas, geológico-geotécnicas, hidrológicas e hidráulicas que favoreçam a construção das estruturas de desvio da maneira mais simples e compatível com o porte do empreendimento. Assim, desde a fase de inventário, deve-se buscar locais que facilitem a adoção de um desvio do rio o mais simples possível, de rápida construção e tecnicamente seguro para os níveis de exigência da obra. Dessa maneira, alguns padrões sempre são preferidos, tais como o eixo locado no início de um meandro de rio com leito rochoso, o que facilita a construção de túneis de desvio curtos.

3.18 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA

Para a seleção locacional de trechos aptos a implantação de barramentos com a finalidade de abastecimento de água é necessária a realização de estudos preliminares da área de estudo. Os estudos preliminares buscam levantar informações multidisciplinares para a região de estudo, de modo a embasar o diagnóstico, de forma imediata e ágil, a partir de dados disponíveis (Cruz e Silveira, 2019). Os quais fornecem um panorama socioeconômico e ambiental da região que tem por finalidade subsidiar as etapas seguintes do estudo objeto deste trabalho.

De acordo com Cruz e Silveira (2019), a delimitação da área de influência de uma região deve iniciar-se pela definição das bacias hidrográficas e, subsequentemente, pelos municípios nela presentes. Tal abordagem possibilita que os diagnósticos e planejamentos sejam realizados de maneira segmentada para cada unidade de estudo, tanto a bacia quanto o município, o que permite uma maior precisão nas análises, investigações e propostas. No presente estudo, a unidade de bacia hidrográfica considerada é a Taquari-Antas, e o município analisado é Flores da Cunha, localizado no estado do Rio Grande do Sul.

No Quadro 9 elencam-se os aspectos graduáveis que podem ser divididos em três categorias: descrição do ambiente físico, descrição do ambiente biótico e

descrição do ambiente antrópico. Essas informações aplicam-se para seleção de locais variados para qualquer finalidade.

Quadro 9 - Aspectos graduáveis e mapeáveis do ambiente.

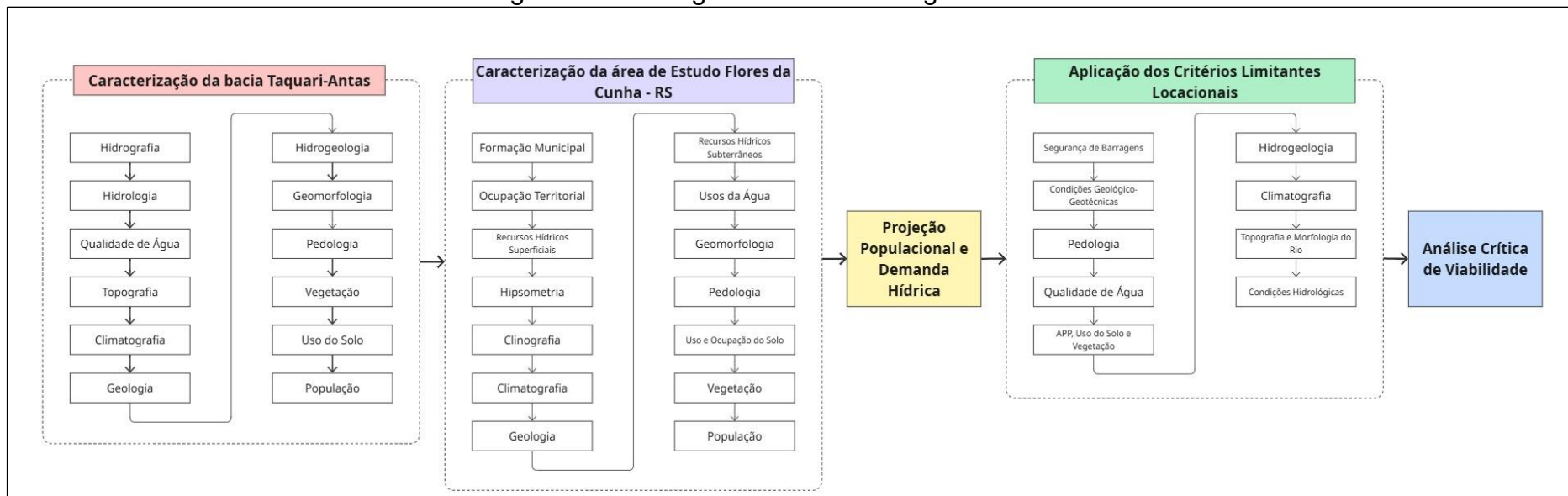
MEIO	ÁREA DO CONHECIMENTO	ASPECTOS MAPEÁVEIS
Abiótico	Hidrologia	Vazões máximas, médias, mínimas, disponibilidade hídrica, efeito de regularização, índice de fragmentação dos rios
	Climatologia	Chuvas, evaporação, insolação, temperatura, ventos, umidade
	Hidrogeologia	Aquíferos, falhas, formações, circulação de águas subterrâneas, potencialidades, fragilidades, vazão de poços, nível do lençol freático, piping, áreas de recarga de aquíferos
	Geomorfologia	Declividades, formas de relevo
	Solos	Resistência a impactos, erodibilidade
	Geologia	Formações, presença de lineamentos, características geotécnicas das formações
Biótico	Vegetação	Valor dos habitats para espécies de interesse especial (espécies raras, endêmicas, ameaçadas de extinção e espécies que apresentam características de importância local, como valor medicinal, expressão paisagística, indicação de qualidade ambiental ou espécies-chave para o ecossistema)
	Fauna	Valor dos habitats para espécies de interesse especial (espécies raras, endêmicas, ameaçadas de extinção e espécies que apresentam características de importância local, como valor medicinal, expressão paisagística, indicação de qualidade ambiental ou espécies-chave para o ecossistema)
Antrópico	Uso do solo	Índice de pressão fundiária, índices de probabilidade de contaminação das águas por esgotos urbanos, poluentes industriais e de criatórios animais confinados ou não (carga difusa da pecuária)
	Ocorrências hidrominerais	Localização e caracterização
	Títulos minerários	Localização e caracterização
	Ocorrências industriais e agroindustriais	Localização e caracterização

Fonte: Adaptado de Cruz e Silveira (2019).

4 METODOLOGIA

No contexto deste trabalho, examinam-se métodos, técnicas e ferramentas delineados no Capítulo 3. Esta análise é embasada em critérios específicos estabelecidos para orientar a escolha da metodologia mais apropriada para o estudo, os quais foram definidos com base na revisão bibliográfica apresentada no mesmo capítulo. A Figura 18 representa o fluxograma da metodologia proposta, oferecendo uma visão do seu desenvolvimento e implementação.

Figura 18 - Fluxograma da metodologia do estudo.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

A metodologia deste estudo organiza-se em cinco etapas interdependentes, conforme apresentado na Figura 18. Na primeira etapa, realiza-se a caracterização da bacia Taquari-Antas, abrangendo a análise da rede hidrográfica, hidrologia, qualidade da água, topografia, climatografia, geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso do solo. Em seguida, procede-se à caracterização da área de estudo (município de Flores da Cunha - RS), envolvendo hipsometria, clinografia, recursos hídricos superficiais e subterrâneos, ocupação territorial, uso e ocupação do solo, climatografia, geologia e perfil demográfico local. A terceira etapa consiste na projeção populacional e no cálculo da demanda hídrica, com base em dados do SNIS e em técnicas de projeção geométrica. Posteriormente, aplicam-se os critérios limitantes locais — incluindo segurança de barragens, condicionantes geológico-geotécnicas, pedologia, qualidade da água, APPs, uso do solo, vegetação, hidrogeologia, climatografia, topografia e condições hidrológicas — por meio de matriz de impacto que viabiliza a hierarquização e exclusão de trechos. A etapa final compreende a análise crítica de viabilidade, integrando todos os parâmetros ambientais, técnicos e socioeconômicos para a avaliação do trecho selecionado quanto a adequação à implantação de barramento para abastecimento público.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA E SUB-BACIAS DE ESTUDO

A caracterização de uma bacia hidrográfica é um dos primeiros e mais comuns procedimentos executados em análises hidrológicas ou ambientais, e tem como objetivo elucidar as várias questões relacionadas com o entendimento da dinâmica ambiental local e regional (Teodoro *et al.*, 2007). Nesse contexto, a análise da bacia principal fornece a base para a delimitação e avaliação da sub-bacia de interesse, permitindo uma abordagem metodológica mais precisa na identificação de áreas com potencial para a implantação de barramentos (Sabanés, 2002).

O comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica é função de suas características geomorfológicas (forma, relevo, área, geologia, rede de drenagem, solo, etc.) e do tipo da cobertura vegetal existente (Lima, 1976). Com a finalidade de embasar a caracterização ambiental da área de estudo, este trabalho realiza uma análise característica da bacia hidrográfica do Taquari-Antas, considerada a unidade hidrográfica principal, a fim de subsidiar, de forma estruturada, a caracterização

subsequente das sub-bacias municipais de Flores da Cunha selecionadas como foco do presente estudo.

4.2 PROJEÇÃO POPULACIONAL

A estimativa da população do município de Flores da Cunha é estabelecida com base na aplicação do método de projeção geométrica, o qual apresenta maior aderência à tendência histórica de crescimento populacional local. Essa metodologia assume que o crescimento segue uma taxa constante proporcional ao número atual de habitantes, refletindo padrões comumente observados em contextos urbanos em desenvolvimento (Sperling, 2014).

A escolha do horizonte temporal de 80 anos, compreendendo o período de 2023 a 2102, é fundamentada em diretrizes técnicas que recomendam uma vida útil mínima de 50 anos para projetos de infraestrutura hídrica (ICOLD, 2008). A extensão adicional desse intervalo temporal permite acomodar incertezas relacionadas à implementação do empreendimento, contribuindo para maior robustez no planejamento.

As projeções demográficas são calculadas com o auxílio de planilhas eletrônicas, nas quais os dados históricos populacionais, obtidos a partir dos censos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), são utilizados como base de entrada para a equação de crescimento geométrico. Os valores projetados são organizados em intervalos regulares e apresentados em tabela, contemplando tanto os dados observados quanto as estimativas até o ano de 2102.

4.3 PROJEÇÃO DO VOLUME NECESSÁRIO PARA ABASTECIMENTO

A metodologia empregada para a projeção da demanda hídrica e volume necessário para abastecimento do município de Flores da Cunha fundamenta-se em uma abordagem quantitativa, baseada nos históricos de abastecimento de água entre 2012 e 2022, obtidos junto ao Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). A partir desses dados, aplica-se o método de projeção geométrica para estimar a evolução do consumo per capita ao longo do horizonte temporal analisado, compreendido entre 2023 e 2103. Já para estimar o volume necessário ao atendimento da população em um horizonte temporal de 80 anos (2023–2103), o

consumo per capita projetado é multiplicado pelas estimativas populacionais correspondentes ao mesmo período.

Considerando que os empreendimentos de barramento possuem tempo de retorno elevado — estimado entre 25 e mais de 100 anos — adotou-se um intervalo de 80 anos como referência para a análise de viabilidade da infraestrutura de abastecimento (Prefeitura Municipal de São Paulo, 1999). Para cada ano projetado, o consumo per capita estimado é multiplicado pela projeção populacional correspondente, gerando os valores anuais de consumo total de água.

Além disso, os valores de consumo sofrem ajustes para incorporar as perdas na rede de distribuição de água, de forma a refletir a demanda bruta efetiva. Para tanto, utiliza-se as metas estabelecidas pela Portaria Federal nº 490/2021, que determina a redução gradativa das perdas para alcançar o índice máximo de 25% até 2033 (Brasil, 2021). Entretanto, tendo em vista que o histórico de perdas do município apresenta média de 36%, opta-se por adotar uma margem de segurança adicional de 10%, totalizando 27,5% como valor de referência para os anos finais da projeção. Este ajuste visa mitigar possíveis subestimativas decorrentes de falhas em micromedição ou inconsistências nos dados de consumo real.

Os dados projetados foram organizados em uma matriz temporal (**Tabela 9**), detalhando o consumo per capita, o consumo total e a demanda ajustada com perdas para cada horizonte temporal. Tal abordagem permitiu estimar a evolução do consumo hídrico e embasar futuras decisões quanto à necessidade de ampliação do sistema de abastecimento, bem como a viabilidade da implantação de estruturas de armazenamento, como barragens.

4.4 ESTABELECIMENTO DO CONJUNTO DE CRITÉRIOS DE SELEÇÃO LOCACIONAL

A definição dos critérios para a seleção da(s) área(s) propensa(s) à implantação de uma barragem com finalidade de abastecimento baseou-se em legislações federais, estaduais e municipais, bem como em diretrizes e normas técnicas específicas, adotando-se sempre a regulamentação mais restritiva. Ressalta-se que esses referenciais normativos e técnicos encontram-se previamente sistematizados na revisão bibliográfica deste trabalho.

4.4.1 Segurança de Barragens

A legislação de segurança de barragens constitui um fator limitante na seleção do local para a implantação de barramentos, devido aos critérios técnicos, ambientais e socioeconômicos definidos pelas normativas legais, a fim de garantir a segurança e a mitigação de riscos. Barragens próximas a cidades ou comunidades podem apresentar restrições devido ao risco potencial em caso de rompimento (ANS, 2021). Um dos aspectos determinantes neste contexto é a definição da Zona de Auto Salvamento (ZAS), definida pela Lei Federal nº 14.066, de 30 de setembro de 2020, como a região a jusante da barragem em que se considera que não haverá tempo suficiente para uma intervenção das autoridades competentes em caso de ruptura da barragem, devido à rapidez da propagação da onda de ruptura e, por conseguinte, o tempo muito exíguo entre o instante da ruptura da barragem e a chegada da onda a um determinado local, situado a jusante da barragem (Brasil, 2020).

A ZAS desempenha um papel crucial na avaliação de segurança de barragens, principalmente em relação ao risco potencial de rompimento da estrutura e seus efeitos sobre as populações e o meio ambiente (Lima, 2020). A Resolução nº 236 da ANA, de 30 de janeiro de 2017, influi adotar a menor das seguintes distâncias para a ZAS: dez quilômetros ou a distância a partir do local de barramento ou a distância a jusante da barragem que corresponda a um tempo de chegada da onda de inundação igual a trinta minutos (Brasil, 2017).

Em relação às responsabilidades do empreendedor, a lei define que, para as áreas abrangidas pela ZAS, a obrigação se limita ao alerta e aviso à população sobre a situação emergencial, sendo recomendado o uso de sistemas de comunicação de emergência, como sirenes, para informar rapidamente a população acerca do risco de ruptura e das medidas de evacuação (Brasil, 2020).

4.4.2 Topografia

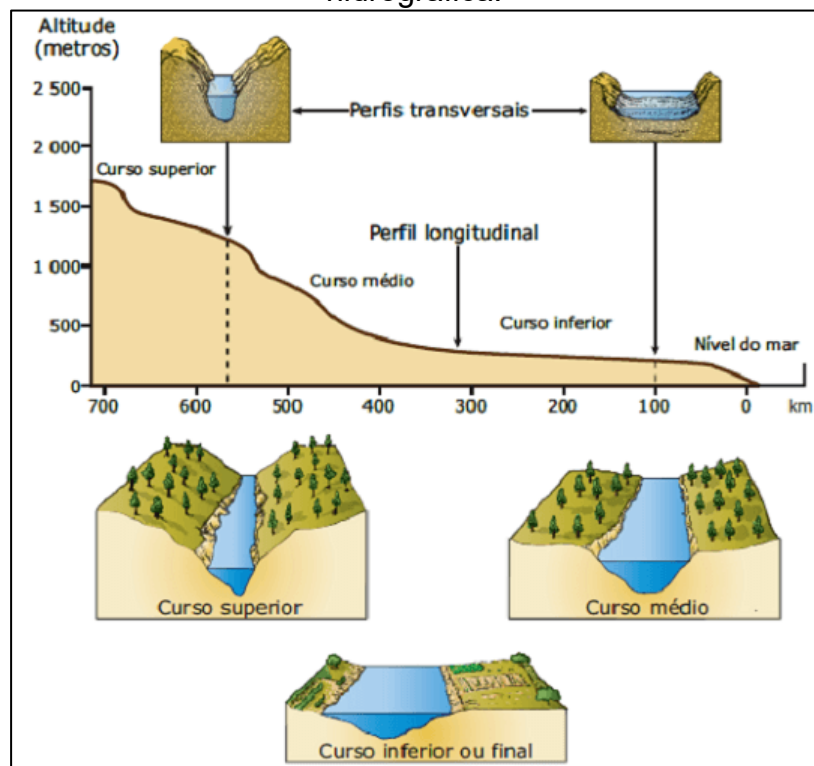
Segundo Cruz (1996), a escolha do local para a implantação de uma barragem deve considerar a morfologia do vale, visto que a topografia influencia diretamente na tipologia estrutural mais adequada. Os vales que abrigam o curso d'água a ser barrado podem ser classificados em abertos, quando a altura do barramento em relação ao comprimento da crista é proporcionalmente reduzida; fechados, quando essa relação

é acentuada; e intermediários, quando apresentam características morfológicas entre essas duas condições (ICOLD, 2019).

Em vales fechados, especialmente aqueles situados entre taludes de rocha sã, a construção de barragens rígidas em alvenaria ou concreto é mais recomendada, pois a disposição do material é facilitada e as encostas oferecem suporte estrutural favorável para barragens em arco. Por outro lado, em vales abertos, com ombreiras de declividade suave e terrenos constituídos por solos aluvionares, a construção de barragens de terra, seja na forma homogênea ou zoneada com a combinação de diferentes tipos de solos, se torna mais viável devido à maior disponibilidade de área para as obras, permitindo uma execução mais eficiente dessas estruturas (Cruz e Silveira, 2019).

As seções dos rios e tipologia de vales são recapituladas no Quadro 10 e apresentados na Figura 19.

Figura 19 - Caracterização topográfica do perfil longitudinal de uma bacia hidrográfica.



Fonte: Adaptado de Almeida e Rigolin (2003).

Quadro 10 – Relação entre morfologia do vale e tipos de barramentos.

SEÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA	MORFOLOGIA DO VALE	TIPO DE BARRAMENTO INDICADO
Curso superior	Vale em “V” fechado	Sugere barragem de concreto compactado a rolo ou de enrocamento com face de concreto ou as barragens de concreto armado na forma de arco
Curso médio	Vale em “V” aberto	Sugere barragem de terra ou enrocamento
Curso inferior ou final	Vale aberto de fundo plano	Sugere barragem homogênea de terra ou zoneada com a combinação de vários tipos de solos
-	Irregular	Barragem de concreto gravidade ou contraforte ou de enrocamento

Fonte: Elaborado pela autora com base em Cruz e Silveira (2019), Sayão (2009) e Almeida e Rigolin (2003).

Para a etapa de seleção locacional fundamentada em parâmetros topográficos, serão gerados perfis longitudinais dos trechos hidrográficos remanescentes de outros critérios limitantes já implementados, com base em Modelo Digital de Elevação (MDE) de 30 m de resolução. Cada perfil será submetido a análise detalhada da morfologia do vale — incluindo geometria de encaixe e flancos laterais — e ao cálculo do diferencial altimétrico montante–jusante, conforme Parizek e Voight (1970). A partir desses indicadores, serão identificadas as seções de vale com maior potencial de retenção hídrica para implantação da crista do barramento.

Cumprido destacar, do ponto de vista metodológico, que este trabalho não tem como objetivo definir o tipo de barramento a ser adotado, mas avaliar, sob a ótica ambiental, a influência do fator topográfico na seleção de alternativas de barragem com finalidade de abastecimento, uma vez que tal decisão excede as atribuições do engenheiro ambiental, configurando-se como uma escolha de natureza multidisciplinar que envolve, majoritariamente, especialistas em geotecnia, engenharia civil e hidráulica.

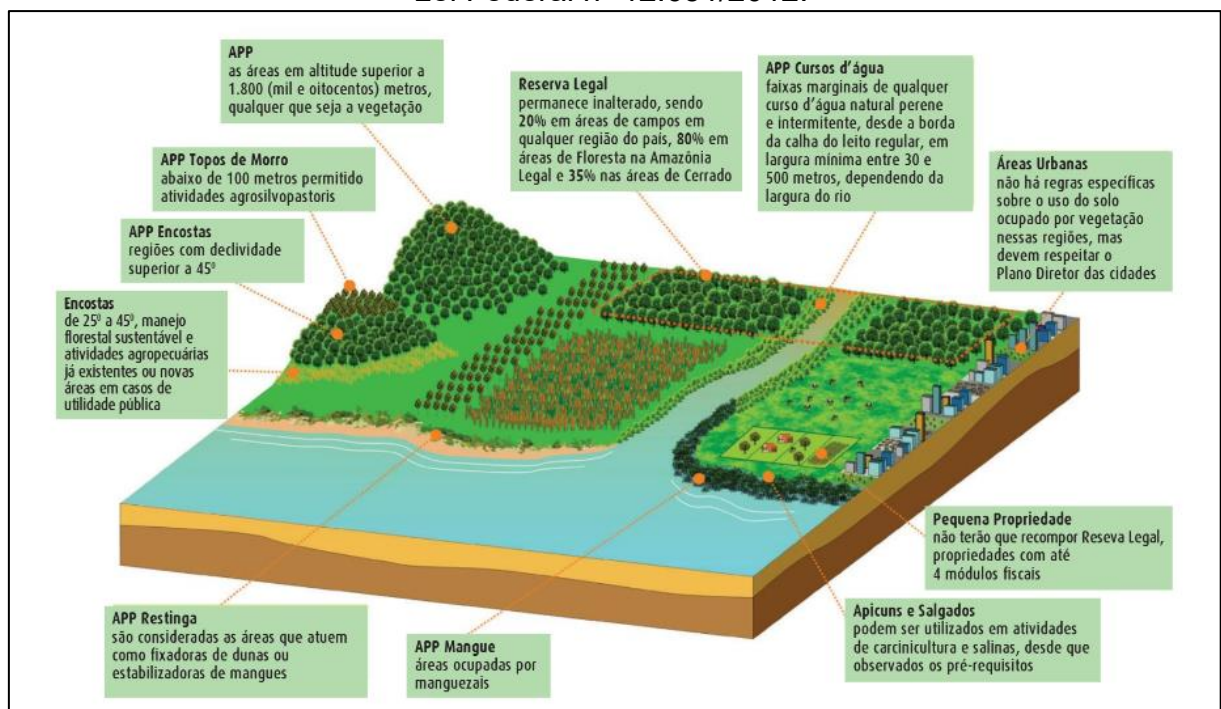
4.4.3 Áreas de Preservação Permanente e Vegetação

Conforme estabelecido pela Lei Federal nº 12.651/2012, são classificadas como Áreas de Preservação Permanente (APPs) aquelas declaradas de interesse social pelo chefe do Poder Executivo, recobertas por florestas ou demais formas de vegetação nativa, desde que atendam a um ou mais dos seguintes critérios:

- Conter a erosão do solo, mitigar riscos de enchentes e deslizamentos de terra ou rochas;
- Proteger restingas ou veredas;
- Proteger várzeas;
- Abrigar exemplares da flora e fauna em risco de extinção;
- Proteger sítios de valor científico, histórico e cultural;
- Formar faixas de proteção ao longo das rodovias;
- Auxiliar na defesa do território nacional;
- Assegurar condições do bem-estar público;
- Proteger áreas úmidas (Brasil, 2012).

Complementando a definição, a promulgação da Lei Federal nº 12.651/2012 — que instituiu o novo Código Florestal Brasileiro — também estabeleceu um conceito mais amplo para as Áreas de Preservação Permanente (APPs). Segundo o artigo 3º da referida lei, APPs são definidas como “áreas protegidas, cobertas ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas” (Brasil, 2012). A Figura 20 apresenta a representação dos principais espaços territoriais definidos pela Lei Federal nº 12.651/2012 como passíveis de delimitação enquanto Áreas de Preservação Permanente (APPs), conforme os critérios legais estabelecidos para proteção ambiental.

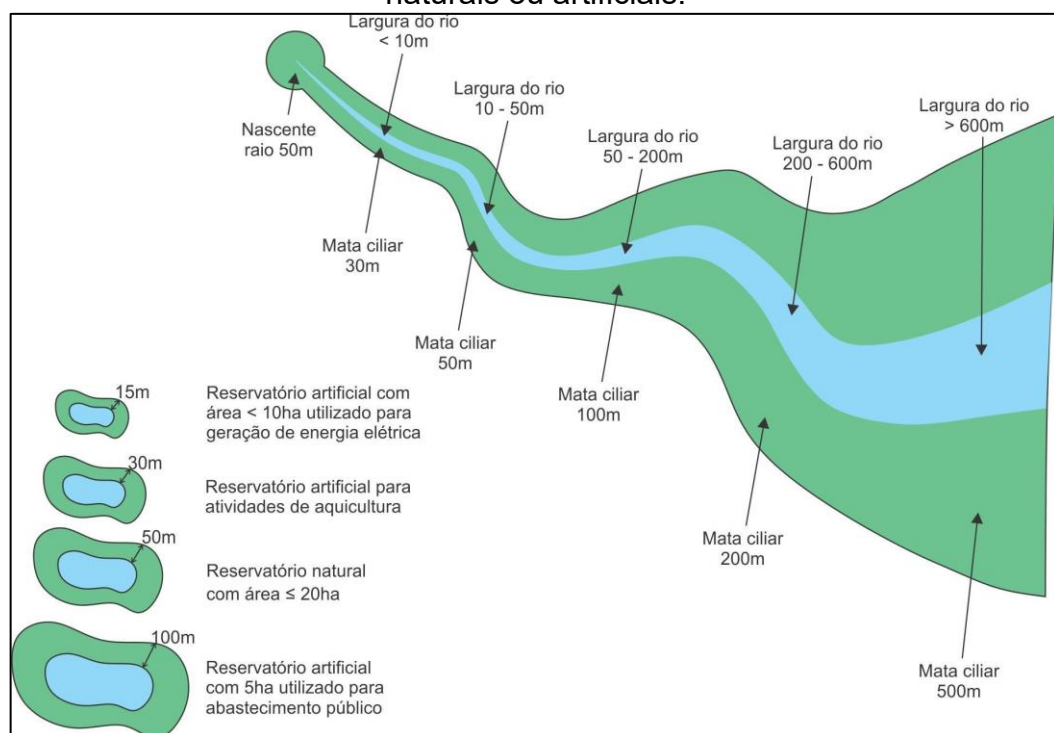
Figura 20 - Áreas de Preservação Permanente (APPs), conforme estabelecido na Lei Federal nº 12.651/2012.



Fonte: Adaptado de infográfico da Folha de São Paulo (2022).

No que se refere aos cursos hídricos, conforme as determinações da Lei Federal nº 12.651/2012, a delimitação das faixas marginais de Áreas de Preservação Permanente (APPs) é estabelecida com base na largura dos cursos d'água naturais, perenes ou intermitentes — excluídos os efêmeros — bem como para corpos hídricos naturais ou artificiais, conforme ilustrado na Figura 21.

Figura 21 - Faixa de largura das Áreas de Preservação Permanente (APPs) estabelecida com base nas dimensões dos cursos hídricos e de reservatórios naturais ou artificiais.



Fonte: INEA (2016).

Para a finalidade metodológica, a seleção locacional de áreas para implantação de um barramento com finalidade de abastecimento público considera-se, de forma prioritária, a minimização de interferências em Áreas de Preservação Permanente (APPs), especialmente aquelas situadas em encostas e topos de morros, que apresentam elevada sensibilidade ambiental e restrições legais mais severas.

4.4.4 Vegetação

A área de estudo encontra-se inserida no domínio do Bioma Mata Atlântica, conforme identificado pelo Plano Diretor da Prefeitura Municipal de Flores da Cunha

(2024), cuja proteção e manejo sustentável estão regulamentados pela Lei Federal nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006 (Brasil, 2006). Essa regulamentação estabelece critérios técnicos e legais para a utilização da vegetação nativa, vedando, em seu artigo 8º, a supressão de formações florestais primárias e secundárias em estágio médio ou avançado de regeneração, salvo em situações excepcionais de interesse social ou utilidade pública, devidamente comprovadas e autorizadas pelo órgão ambiental competente (Brasil, 2006).

Em complemento às diretrizes legais sobre o uso da vegetação nativa, deve-se considerar os efeitos ecológicos adversos da fragmentação de habitats, como a perda da conectividade entre remanescentes florestais. A fragmentação de habitats e a descontinuidade de corredores ecológicos configuram impactos ambientais relevantes na implantação de barramentos, comprometendo a conectividade funcional entre fragmentos de vegetação nativa, o fluxo gênico e a conservação da biodiversidade (Farias e Lemos, 2006). A legislação ambiental brasileira contempla dispositivos que reconhecem e regulamentam a proteção desses elementos, como a Lei Federal nº 9.985, de 18 de julho de 2000, que institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) e inclui corredores ecológicos como instrumentos de gestão (Brasil, 2000); a Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006, que dispõe sobre a utilização da vegetação nativa do bioma Mata Atlântica e impõe restrições à sua supressão (Brasil, 2006); e a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012 (Novo Código Florestal), que prevê a manutenção da conectividade ecológica por meio das Áreas de Preservação Permanente (APPs) e Reservas Legais (Brasil, 2012). Complementarmente, a Resolução CONAMA nº 428/2010 e a Convenção sobre Diversidade Biológica reforçam a importância da continuidade dos ecossistemas naturais (Brasil, 2010).

Dessa forma, estabelece-se como diretriz metodológica que a área selecionada para a implantação de barramento não poderá se sobrepor a APPs, Unidades de Conservação, corredores ecológicos ou remanescentes significativos de vegetação nativa, de modo a reduzir impactos sobre a biodiversidade e atender às exigências legais de proteção ambiental.

4.4.5 Qualidade de água

O propósito primário para a exigência de qualidade da água é a proteção à saúde pública. Os critérios adotados para assegurar essa qualidade têm por objetivo fornecer uma base para o desenvolvimento de ações que, se propriamente implementadas junto à população, garantirão a segurança do fornecimento de água através da eliminação ou redução à concentração mínima de constituintes na água conhecidos por serem perigosos à saúde (D'Águila *et al.*, 2000). No Brasil, a qualidade da água destinada ao abastecimento público é monitorada por meio de dois mecanismos distintos. O primeiro, denominado controle operacional, é de responsabilidade do próprio produtor e tem como objetivo ajustar os processos de tratamento para garantir o atendimento aos padrões de qualidade estabelecidos. O segundo, conhecido como controle legal ou vigilância sanitária, deve ser conduzido por órgãos autônomos e independentes, preferencialmente vinculados ao Ministério da Saúde ou, por delegação, às Secretarias Estaduais de Saúde (Pires, 2000).

A Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, dispõe, em seu artigo 4º, sobre a classificação das águas doces de acordo com seus usos preponderantes, estabelecendo que aquelas destinadas ao abastecimento para consumo humano podem ser enquadradas até a Classe 3, desde que submetidas a tratamento convencional ou avançado (Brasil, 2005). No que se refere à proposta metodológica, para o presente trabalho adota-se como critério limitante o enquadramento da massa d'água em classe inferior ou igual à Classe 3, conforme os parâmetros estabelecidos na Resolução CONAMA nº 357/2005 (Brasil, 2005), condição necessária para sua consideração como alternativa viável à implantação de barramento destinado ao abastecimento para consumo humano.

No contexto da seleção locacional de barramentos voltados ao abastecimento público, a Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021 — que define o padrão de potabilidade e estabelece os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano no Brasil (Brasil, 2021) — configura-se como instrumento normativo. O critério metodológico estabelecido consiste em garantir que o manancial selecionado apresente condições que, mediante tratamento adequado, possibilitem a obtenção de água em conformidade com os padrões de potabilidade definidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021. Essa exigência normativa apresenta correlação direta com a Resolução CONAMA nº 357/2005, à medida que ambas regulamentações

estabelecem parâmetros qualitativos mínimos para a captação de água destinada ao consumo humano.

4.4.6 Condições geológico-geotécnicas

A caracterização geológica e geotécnica do sítio é etapa fundamental no processo de seleção do tipo de barragem a ser implantado, uma vez que as condições da fundação influenciam diretamente tanto a escolha da tipologia estrutural quanto os métodos de tratamento necessários (ICOLD, 2005). A execução de um programa sistemático de investigação geotécnica permite mitigar as incertezas associadas às características do subsolo, ao mesmo tempo em que, por meio da análise integrada de parâmetros como resistência, deformabilidade e permeabilidade do material de fundação, subsidia a escolha da tipologia de barragem mais compatível com as condições locais, bem como a definição da necessidade, extensão e natureza dos tratamentos fundacionais a serem implementados (Costa, 2016). O Quadro 11 apresenta a compatibilidade entre tipos de barragens em concreto e fundações em rocha, conforme suas propriedades mecânicas.

Quadro 11 – Adequação de tipos de barragens de concreto em função da classe e natureza das rochas de fundação.

CLASSE DE ROCHA	ROCHA	TIPO DE BARRAGEM DE CONCRETO ADEQUADA
Muito resistente	Granitos, diabásios, basaltos maciços, andesitos, gnaisses, migmatitos, quartzitos, calcáreo, metarenito, metagrauvaca (mais resistentes que o concreto)	Qualquer
Resistente	Basaltos vesiculares, quartzo, anfibólito-xisto, arenito, grauvacas e siltito (mais resistentes que o concreto)	Menos adequadas para barragem de concreto em arco
Pouco resistente	Tufos soldados, brechas basálticas, micaxisto, filitos quartzosos, folhetos silteicos compactados e arenitos medianamente resistentes	Não apropriadas para barragem de concreto em arco ou contrafortes
Branda	Folhetos argilosos, arenitos brandos, filitos grafitosos, talco-xistos e etc.	
Muito branda	Argilitos, siltitos brandos	Estruturas de gravidade

Fonte: Elaborado pela autora com base em Marques Filho e Geraldo (1998).

Já para fundações em solo, as barragens de terra ou de terra e enrocamento são mais indicadas, pois apresentam maior capacidade de acomodar deformações, ajustando-se à maior compressibilidade característica dos solos em comparação às fundações rochosas (Sayão, 2009).

Outros fatores geológicos a serem considerados são as ações do intemperismo sobre os materiais naturais, associadas a falhas, fraturas, zonas de cisalhamento e ocorrência de sismos são fatores identificados como risco geológico (Oliveira *et al.*, 2013). O Quadro 12 apresenta os riscos geológico-geotécnicos relacionados às estruturas de barragem possivelmente afetadas.

Quadro 12 – Riscos geológico-geotécnicos.

CONDICIONANTE	PROCESSOS E EFEITOS ESPERADOS	ESTRUTURAS DA BARRAGEM POSSIVELMENTE AFETADAS	INTERVENÇÕES NECESSÁRIAS	MITIGAÇÃO
Profundidade dos canalões	Profundidade maior do que a prevista	Barragem de CCR	Aumento do volume de concreto utilizado na barragem e prazos	Aumento nos volumes de concreto na área dos canalões e acréscimo do prazo de construção
Camadas de areia com blocos de rocha e elevada condutividade hidráulica em canalões	Erosão interna (piping)	Ensecadeiras	Aumento do volume de material utilizado na ensecadeira	Aumento nos volumes das ensecadeiras
Jazidas de areia	Não encontradas	Concreto e filtros	Substituição por areia artificial	Considerar uso de areia artificial
Suficiência das investigações	Adequada para estudos de viabilidade	Estruturas do arranjo	Execução de investigações adicionais nas próximas fases	Programas de investigações
Sobreescavação em rocha	Rocha muito fraturada	Taludes provisórios e finais	Plano de fgo ajustado e fogo cuidadoso	Acréscimo do volume de concreto
Reatividade do granito	Reação álcali-agregado	Estruturas de concreto	Estudos de dosagem do concreto	Uso de cimento pozolânico com custo de transporte mais alto
Fraturas de alívio subhorizontais	Subpressões, recalques e	Barragem de CCR, vertedouro, muros	Tratamento das fraturas com	Aumento no volume de

CONDICIONANTE	PROCESSOS E EFEITOS ESPERADOS	ESTRUTURAS DA BARRAGEM POSSIVELMENTE AFETADAS	INTERVENÇÕES NECESSÁRIAS	MITIGAÇÃO
	instabilidade das estruturas	e outras estruturas com fundações rasas	injeções e drenagem; sobreescavação ou chaveamento da fundação	concreto de enchimento
Áreas de empréstimo de solo	Ensaio insuficientes	Barragens e ensecadeiras construídas com solo	Execução de investigações, estudos e ensaios	Ensaio e sondagens conforme programa de investigação
Sismicidade	Aceleração horizontal elevada	Ensecadeiras, barragem, taludes de escavação	Definição do coeficiente de aceleração sísmica	Dimensionamento das estruturas

Fonte: Adaptado de Oliveira *et al.* (2013).

Para o presente estudo, a condicionante geológico-geotécnica será investigada com base na ausência de fraturas e nas características da tipologia de rocha encontrada. É importante ressaltar novamente, do ponto de vista metodológico, que o objetivo deste trabalho não é determinar o tipo de barragem a ser adotado, mas sim analisar, sob a perspectiva ambiental, a influência do fator geológico-geotécnico na seleção de alternativas de barragem para abastecimento de água, uma vez que essa decisão extrapola as atribuições do engenheiro ambiental, configurando-se como uma escolha de natureza multidisciplinar, envolvendo principalmente especialistas em geotecnia, engenharia civil e hidráulica.

4.4.7 Pedologia

No processo de seleção locacional para a implantação de barramentos, a caracterização das condições pedológicas da área de estudo constitui uma etapa da análise preliminar. A caracterização de parâmetros geotécnicos dos solos em áreas extensas requer campanhas investigativas detalhadas, que envolvem a realização de sondagens, ensaios de campo e ensaios laboratoriais. A complexidade geológica do terreno e o nível de confiabilidade demandado pelo projeto são fatores determinantes para a extensão dessas investigações (Silva, 2003).

Em situações nas quais não há disponibilidade de dados de engenharia específicos, recorre-se à utilização de mapas pedológicos como ferramenta complementar, os quais se mostram úteis na análise preliminar das propriedades do solo superficial (Gusmão Filho, 2002). Tais levantamentos permitem a identificação de atributos relevantes ao planejamento de barramentos, como o grau de saturação, atividade mineralógica, presença de minerais expansivos, capacidade de drenagem, erodibilidade, plasticidade, profundidade do nível freático, bem como a distribuição de solos com diferentes graus de porosidade e permeabilidade. Além disso, viabilizam a identificação de jazidas de materiais com potencial de uso em obras geotécnicas (Lima *et al.*, 1996).

Para orientar a seleção locacional dos barramentos, os solos foram avaliados como critério técnico-ambiental com base em mapas pedológicos e literatura especializada, com suporte em tabelas adaptadas de Amorim (2004), conforme Silva *et al.* (2020). A análise considerou a suscetibilidade dos solos a processos como colapso, expansão, erosão, dispersão e presença de solos moles, além da aptidão para fornecimento de materiais utilizados na construção, como filtros e tapetes impermeáveis. Essa abordagem permitiu excluir áreas com baixa aptidão geotécnica e priorizar locais com melhores condições naturais para a engenharia da barragem.

4.4.8 Uso do Solo

A Lei Federal nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, que regulamenta o parcelamento do solo urbano, estabelece diretrizes normativas para a organização territorial, assegurando o uso racional do solo com base em critérios técnicos de segurança, salubridade e funcionalidade urbana (Brasil, 1979). Entretanto, diante da necessidade de garantir a segurança de populações humanas frente aos riscos associados a potenciais falhas estruturais, áreas urbanas e adensadas são excluídas como alternativas locacionais para implantação de barramentos no presente estudo. Em contrapartida, nas zonas rurais, a viabilidade de ocupação é subordinada às determinações contidas no Plano Diretor Municipal, instrumento normativo que estabelece o zoneamento, as permissões de uso e as restrições impostas ao território, podendo vedar intervenções em áreas destinadas à agricultura intensiva, reservas legais ou demais zonas incompatíveis com empreendimentos de infraestrutura hídrica (Cruz e Silveira, 2019).

No processo de análise locacional para implantação de barramentos em áreas rurais, o uso do solo configura-se como um critério técnico e jurídico limitante, diretamente vinculado ao zoneamento estabelecido pelo Plano Diretor Municipal. Esse instrumento de planejamento territorial define os usos permitidos e as restrições específicas para cada zona rural, podendo vedar a implantação de barragens em áreas destinadas à agricultura intensiva, preservação ambiental, reservas legais ou assentamentos rurais, cujas finalidades são incompatíveis com obras hidráulicas de grande porte.

4.4.9 Recursos hídricos subterrâneos

Na avaliação hidrogeológica aplicada à seleção locacional de barramentos, a identificação e caracterização das unidades aquíferas regionais configura etapa técnica indispensável, tendo em vista que os sistemas subterrâneos desempenham função estratégica na sustentação da vazão de base dos cursos d'água perenes, contribuindo diretamente para a estabilidade hidrológica sazonal e a perenização dos fluxos superficiais (Cruz e Silveira, 2019).

O levantamento geológico e hidrogeológico da área de estudo é conduzido por meio da análise integrada de mapas temáticos, relatórios técnicos, teses acadêmicas e artigos. Essa abordagem permitiu a identificação do Aquífero Serra Geral II como sistema hidrogeológico predominante na região, caracterizado por sua natureza fissural e relevância na dinâmica de recarga e manutenção da vazão de base dos cursos d'água (CPRM, 2006).

Na Bacia Hidrográfica Taquari-Antas, os recursos hídricos subterrâneos estão majoritariamente associados ao Sistema Aquífero Serra Geral II (SASG) (CPRM, 2014). Conforme Reginato (2003), esse sistema compreende aquíferos de natureza granular e fraturada. No contexto do SASG, o principal critério limitante à implantação de barramentos refere-se ao risco de percolação significativa da água armazenada, decorrente da presença de fraturas e descontinuidades geológicas. Trata-se de um aquífero fissural, cuja condutividade hidráulica é determinada pelo grau de fraturamento da rocha e pela conectividade entre fissuras, podendo comprometer a estanqueidade e a eficiência do reservatório (Bortolin, 2018).

A avaliação das condições hidrogeológicas é conduzida com base em sondagens geológicas com recuperação de testemunhos, ensaios de permeabilidade

e métodos geofísicos, com o objetivo de identificar zonas de maior condutividade hidráulica. A presença de fraturas interconectadas e descontinuidades estruturais é considerada critério restritivo à implantação de barramentos, sendo necessária, nesses casos, a análise da viabilidade de técnicas de impermeabilização (Cruz e Silveira, 2019). No entanto, a execução de tais procedimentos demanda infraestrutura técnica e operacionais específicas. Diante disso, este estudo limita-se à análise de dados secundários disponíveis em literatura técnico-científica, relatórios institucionais e bancos de dados geológicos, conferindo à avaliação caráter preliminar e direcionador na identificação de áreas potencialmente incompatíveis com a implantação de barramentos.

4.4.10 Clima

Os fatores climáticos exercem influência direta sobre as características do solo da região, impactando também o cronograma de execução da obra e as técnicas construtivas aplicáveis à implantação de barragens. Nesse contexto, elementos meteorológicos como frequência de precipitações, variações térmicas e níveis de umidade relativa do ar devem ser criteriosamente considerados na etapa de definição do tipo de estrutura a ser adotada (Souza, 2013).

No contexto da seleção locacional de barramentos, o regime pluviométrico se configura como um dos principais critérios limitantes relacionados ao clima, uma vez que a disponibilidade hídrica para o abastecimento do reservatório está diretamente associada à quantidade e distribuição temporal das chuvas na região (Cruz e Silveira, 2019). Áreas com chuvas concentradas em períodos curtos ou com baixa pluviosidade anual pode comprometer a capacidade de recarga do sistema e a regularização do fluxo hídrico, impactando negativamente a eficácia do barramento. Além disso, regiões suscetíveis a eventos climáticos extremos, como secas prolongadas ou cheias intensas, exigem maior atenção na fase de planejamento para garantir a operação estável e a segurança da estrutura ao longo do tempo (Oliveira *et al.*, 2007).

4.4.11 Condições Hidrológicas

Para a caracterização pluviométrica das sub-bacias municipais de Flores da Cunha utilizou-se o as médias de precipitação estudadas por Breda, Vigolo e

Schneider (2021), com dados de precipitação compreendidos entre 1961 a 1990. Já os dados fluviométricos da sub-bacia são realizados por meio de regionalização de vazões a partir do inventário de estações da Agência Nacional de Águas (ANA), disponibilizado através do HidroWeb (Brasil, 2013), juntamente com as suas séries históricas de vazão média diária.

De acordo com o inventário da Agência Nacional de Águas (ANA, 2014), a sub-bacia Taquari-Antas conta com 77 estações fluviométricas, das quais 63 (82%) estão em operação e 14 (18%) encontram-se desativadas, sob responsabilidade de diferentes gestores. Contudo, apenas 25 dessas estações (32%) disponibilizam séries históricas de vazão média diária no repositório da ANA. As vazões médias mensais serão, portanto, obtidas por regionalização desses dados, permitindo a determinação da vazão apta à captação e sua posterior comparação com a demanda projetada, a fim de avaliar a viabilidade técnica do barramento.

A metodologia adotada para a estimativa de vazões mensais segue um fluxo ordenado de etapas interdependentes. Inicialmente, procede-se à seleção da estação fluviométrica mais representativa da área de interesse e à obtenção de suas séries históricas de vazão diária. Em seguida, calcula-se a vazão média mensal dessa série e aplica-se técnicas de regionalização para extrapolar os valores à sub-bacia sem monitoramento. Com base nesses resultados, define-se o fluxo ecológico mínimo e calcula-se a vazão disponível para captação como a diferença entre as vazões médias mensais e o fluxo ecológico. Paralelamente, a demanda mensal projetada para abastecimento humano é obtida a partir da distribuição sazonal da vazão média anual. A etapa seguinte consiste na verificação da viabilidade de captação, comparando-se a demanda mensal estimada com a vazão disponível. Por fim, realiza-se uma análise crítica dos resultados, considerando meses de estiagem e cenários extremos, de modo a validar ou ajustar a proposta de captação sob critérios técnico-ambientais.

4.5 REGIONALIZAÇÃO HIDROLÓGICA

Em função da vasta extensão territorial do Brasil, muitas regiões de interesse hídrico ainda carecem de monitoramento adequado dos cursos d'água (Melati, 2016), o que impõe desafios significativos na estimativa da disponibilidade de água superficial nas bacias hidrográficas. Nesse contexto, a regionalização de vazões apresenta-se como uma metodologia alternativa viável para suprir a ausência de

dados hidrológicos, fundamentando-se na correlação espacial entre variáveis, parâmetros e funções hidrológicas que possibilitam a extrapolação de informações entre áreas com características similares (Tucci, 2001).

A regionalização de vazões constitui o procedimento recomendado para bacias hidrográficas carentes de monitoramento hidrológico direto (Paiva, 2001). Esse é o caso das sub-bacias localizadas no município de Flores da Cunha, onde não há estações fluviométricas com séries históricas suficientes para estimativa direta das vazões dos cursos d'água. Diante dessa limitação, aplica-se a técnica de regionalização, tomando como base a estimativa da vazão média mensal nos trechos de interesse. Para tanto, torna-se necessário selecionar previamente a estação fluviométrica mais representativa da região, cuja série de dados servirá como referência para o processo de regionalização.

Com o objetivo de garantir representatividade espacial na estimativa das vazões, a seleção das estações fluviométricas de referência baseia-se em séries históricas com no mínimo dez anos de dados, conforme recomendado por Tucci (2001), admitindo-se um limite máximo de 10% de falhas por ano hidrológico, independentemente da existência de um período comum entre as séries. Além do critério temporal, são considerados aspectos morfométricos e hidrográficos da bacia, como o formato da drenagem, a inserção da estação na mesma faixa isoietal da área de interesse, a similaridade no número e ordem dos afluentes, bem como a área de drenagem, adotada como variável explicativa no processo de regionalização.

4.6 PREDILEÇÃO DE CRITÉRIOS DE SELEÇÃO LOCACIONAL UTILIZANDO MATRIZ DE DEFINIÇÃO DE IMPACTO

Com base na abordagem metodológica proposta por Cruz e Silveira (2019), que apresenta no Quadro 4 os principais aspectos a serem considerados na seleção locacional de barramentos, e considerando que empreendimentos dessa natureza possuem caráter multidisciplinar, abrangendo diversas áreas do conhecimento, torna-se necessária a reformulação da metodologia original a fim de contemplar critérios de natureza ambiental. Para esse fim, adota-se a aplicação de uma matriz de probabilidade e impacto, utilizada como ferramenta para estimativa qualitativa de risco e avaliação dos impactos associados à seleção da área. Os critérios considerados

para a inclusão na metodologia correspondem àqueles previamente descritos na Seção 4.4.

4.6.1 Matriz de Definição de Impacto

A análise qualitativa de riscos, conforme definida pelo Project Management Institute (2000), consiste na avaliação da probabilidade de ocorrência e do impacto dos riscos com o objetivo de priorizar aqueles que possam comprometer o desempenho do projeto. Segundo Cleland e Ireland (2002), essa abordagem permite identificar os riscos mais críticos, possibilitando a elaboração de estratégias de resposta adequadas. Utiliza-se uma abordagem descritiva, com escalas adaptáveis que expressam a magnitude das consequências e a probabilidade de ocorrência, mesmo na ausência de dados numéricos (Centro da Qualidade, Segurança e Produtividade, 1999).

Essa análise é recomendada como etapa preliminar, quando os riscos não justificam uma análise quantitativa mais detalhada ou em contextos com informações limitadas. Além disso, serve como base para uma eventual análise quantitativa e deve ser revisitada ao longo do ciclo de vida do projeto para refletir alterações no contexto de risco (Project Management Institute, 2000). A definição estruturada dos níveis de probabilidade e impacto é fundamental para minimizar vieses e garantir clareza na comunicação dos riscos, sendo representada graficamente por meio de matrizes, facilitando a visualização e a tomada de decisão.

O Quadro 13 apresenta a matriz de definição de impacto ao projeto.

Quadro 13 – Matriz de Definição de Impacto ao Projeto.

NÍVEIS / ÁREA	5	4	3	2	1
	IRRELEVANTE	BAIXO	MODERADO	ALTO	EXTREMO
Custo	Desvios negativos insignificantes no orçamento	Desvios negativos no orçamento em até 5%	Desvios negativos no orçamento de 5% a 10%	Desvios negativos no orçamento de 10% a 20%	Desvios negativos no orçamento acima de 20%
Prazo	Atrasos insignificantes no cronograma	Atrasos no cronograma de até quatro semanas	Atrasos no cronograma de quatro a doze semanas	Atraso no cronograma de doze a vinte e quatro semanas	Atraso no cronograma de mais de vinte e quatro semanas
Escopo	Mudanças imperceptíveis no escopo	Poucas mudanças em áreas não críticas do escopo	Poucas mudanças em áreas críticas do escopo	Muitas mudanças em áreas críticas do escopo	Escopo quase ou completamente diferente do inicial

Fonte: Universo Projeto (2024).

A matriz apresentada no Quadro 12 classifica os níveis de impacto de riscos sobre os três principais eixos de desempenho de um projeto — custo, prazo e escopo — com uma escala de 1 (impacto extremo) a 5 (impacto irrelevante). Essa matriz é utilizada para atribuir valor às consequências potenciais dos riscos identificados, auxiliando na priorização e no planejamento de respostas (Project Management Institute, 2000).

Na seleção locacional de barramentos, os critérios limitantes ambientais são tratados como fatores de risco ao sucesso do projeto. Assim, esses critérios são avaliados por meio da matriz de impacto, da seguinte forma:

- I. Cada critério ambiental identificado é relacionado ao potencial de causar impacto sobre custo, prazo ou escopo da obra.
- II. Com base nas consequências estimadas, atribui-se um nível de impacto conforme a matriz.
- III. Os critérios que apresentarem impacto alto (nível 1 ou 2) são considerados limitantes e, portanto, priorizados como fatores de exclusão ou reavaliação da alternativa locacional.

Assim, a metodologia permite a quantificação e priorização dos riscos ambientais, orientando decisões técnicas alinhadas aos parâmetros legais e operacionais do empreendimento.

4.6.2 Predileção de Critérios Ambientais de Seleção Locacional

Os critérios foram analisados com base na matriz de impactos associada à implantação do empreendimento, sendo priorizados conforme sua influência sobre os principais vetores de viabilidade do projeto: custo, prazo e escopo. Essa priorização seguiu os procedimentos metodológicos estabelecidos neste capítulo. Os resultados obtidos estão sintetizados no Quadro 14.

Quadro 14 – Resultado da Matriz de Definição de Impacto ao Projeto.

PRIORIDADE	GRAU DE IMPACTO	ORDEM DE INVESTIGAÇÃO	ASPECTO
1	Extremo	1	Segurança de barragens
2	Extremo	8	Topografia e Morfologia do rio
3	Extremo	2	Condições Geológico-Geotécnicas
4	Alto	3	Pedologia
5	Alto	4	Qualidade da água
6	Alto	5	Áreas de Preservação Permanente, Uso do Solo e Vegetação
7	Moderado	9	Condições Hidrológicas
8	Moderado	6	Hidrogeologia
9	Moderado	7	Clima

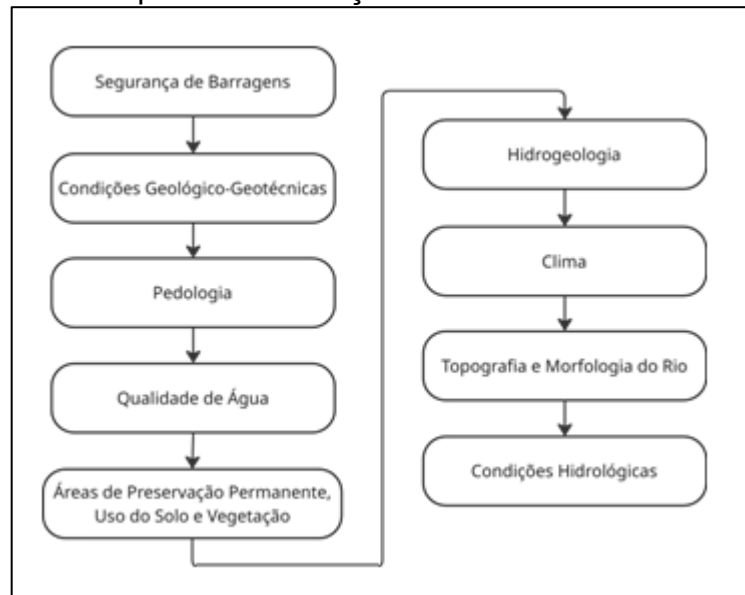
Fonte: Elaborado pela autora (2024) com base em Cruz e Silveira (2019).

Os critérios ambientais definidos pela metodologia foram classificados com base em sua influência sobre os três pilares do gerenciamento de projetos — custo, prazo e escopo — por meio da matriz de impacto que considera cinco níveis de severidade. A priorização resultante reflete a criticidade de cada aspecto na viabilidade locacional de barramentos. Aspectos com impacto extremo, como segurança de barragens, topografia e morfologia do rio, e condições geológico-geotécnicas, foram considerados prioritários por representarem riscos estruturais ou inviabilizarem tecnicamente o empreendimento, com potencial de comprometer significativamente o orçamento, os prazos e o próprio escopo do projeto. Em seguida, fatores como qualidade da água, pedologia e cobertura vegetal foram avaliados como de alto impacto, por influenciarem diretamente na sustentabilidade, legalidade e

operacionalidade da implantação. Critérios com grau de impacto moderado, como condições hidrológicas, hidrogeologia e clima, foram considerados condicionantes importantes, mas passíveis de manejo ou compensação mediante medidas técnicas ou administrativas. Essa hierarquização permite identificar restrições absolutas e variáveis flexíveis, orientando de forma objetiva a seleção locacional mais viável. Por fim, a consolidação da análise ambiental é alcançada por meio da predileção dos critérios, que define o grau de restritividade de cada variável, fundamentando a exclusão de áreas inaptas e a priorização de locais mais adequados à implantação.

A metodologia adotada estabelece, em sua sequência lógica, a realização inicial da análise de aptidão dos trechos hidrológicos, com a classificação em áreas aptas ou inaptas à implantação de barramentos. Na sequência, procede-se à integração com os dados topográficos para a seleção das seções fluviais mais favoráveis. Somente após essa etapa é realizada a verificação das condições hidrológicas, com o objetivo de confirmar se o trecho selecionado apresenta capacidade de atendimento à vazão de demanda estimada. O fluxo de estudo da metodologia apresentada é apresentado na Figura 22.

Figura 22 - Fluxograma metodológico da sequência de análise dos critérios limitantes aplicados à seleção locacional de barramentos.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

4.7 ANÁLISE COM FERRAMENTA DE SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS (SIG) E ESCOLHA PRELIMINAR DE TRECHOS APTOS

Sistema de Informações Geográficas (SIG) é um sistema auxiliado por computador para a aquisição, armazenamento, análise e visualização de dados geográficos. Atualmente, uma variedade de *softwares* está disponível para auxiliar nestas atividades (Eastman, 1998). As técnicas de análise espacial são componentes fundamentais para a investigação das propriedades geológico-geotécnicas, bem como das características físicas e bióticas das áreas que se deseja estudar, visto que permitem a espacialização das informações e o melhor planejamento das atividades. Os SIGs são compostos da união entre ferramentas computacionais de desenho digital, sensoriamento remoto e banco de dados (Zuchette, 2015).

Para a seleção locacional de áreas destinadas à implantação de barramentos, bem como para a caracterização da bacia hidrográfica Taquari-Antas e do município de Flores da Cunha/RS, empregaram-se Sistemas de Informações Geográficas (SIG), integrados à cartografia por meio do software QGIS. Essa abordagem possibilita a representação espacial das condicionantes ambientais, tornando-se indispensável metodologicamente para subsidiar a tomada de decisões baseadas em análises geoespaciais precisas, fundamentais ao planejamento ambiental e territorial.

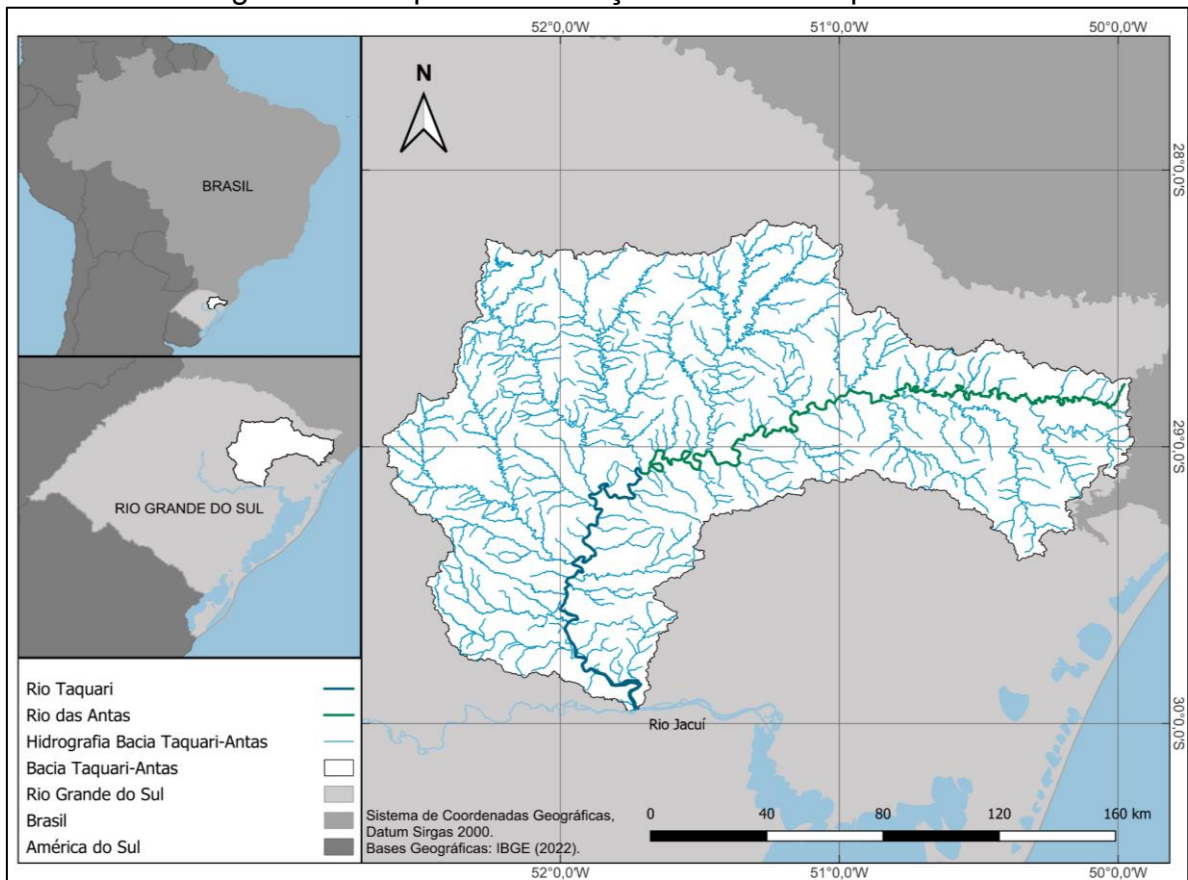
5 RESULTADOS

Com base na metodologia descrita no Capítulo 4, este capítulo apresenta os desdobramentos analíticos do estudo, estruturados em cinco etapas: caracterização da bacia hidrográfica, caracterização da área de estudo, elaboração das projeções, exposição dos critérios ambientais priorizados e regularização de vazões. Sendo assim, os resultados estão divididos nos subcapítulos seguintes.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA TAQUARI-ANTAS

A bacia do sistema Taquari - Antas situa-se na região hidrográfica do Guaíba, na porção nordeste do Estado do Rio Grande do Sul (Figura 23), abrangendo as províncias geomorfológicas do Planalto Meridional e Depressão Central (SEMA, 2012). A bacia abarca uma superfície de 26.277,09 km², equivalente à cerca de 9% do território do Estado do Rio Grande do Sul (IBGE, 2022), onde limita-se ao Norte com a bacia do rio Uruguai; ao Sul com as bacias do Caí e Baixo Jacuí; a Oeste com a bacia do Alto Jacuí e Pardo; e a Leste com o Estado de Santa Catarina. Seus rios principais são Taquari, das Antas, Buriti, Tainhas, Camisas, da Telha, Ituim, Turvo, da Prata, Carreiro, Guaporé, Forqueta e o Arroio de Fão (Vieira, 1984).

Figura 23 - Mapa de localização da Bacia Taquari-Antas.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

5.1.1 Hidrografia

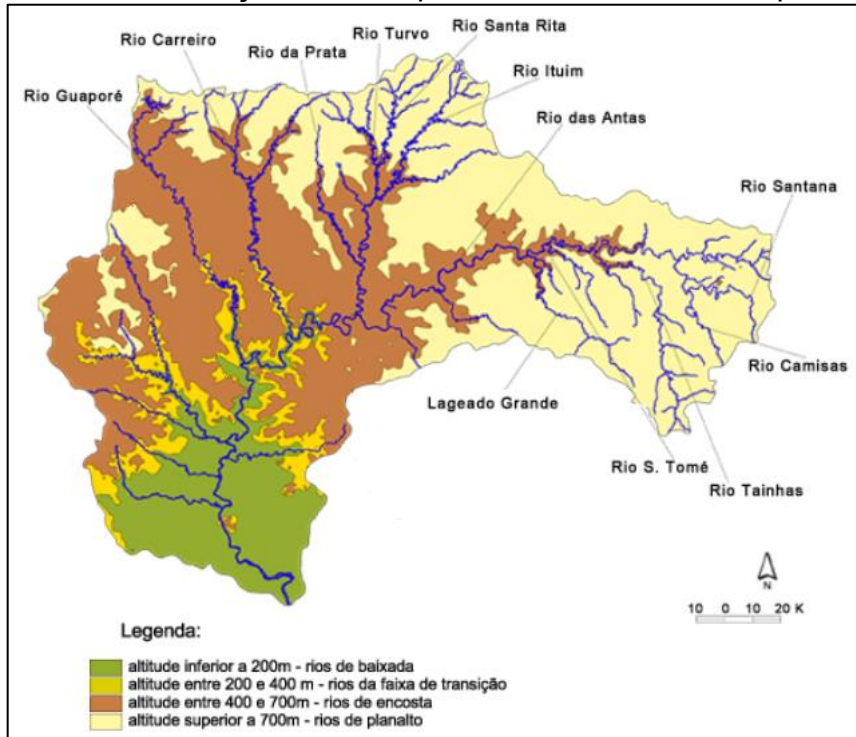
O Rio Taquari é o principal contribuinte da bacia, sendo um dos afluentes do rio Jacuí, que por sua vez é o maior formador do Lago Guaíba (SEMA, 2012) (Figura 23). As nascentes do Taquari-Antas localizam-se no extremo leste da bacia, nos municípios de Cambará do Sul, Bom Jesus e São José dos Ausentes, em uma região que apresenta altitudes em torno de 1200 metros. Nesta seção, o rio flui no sentido Leste-Oeste, percorrendo uma distância de 390 km até a confluência com o rio Guaporé, nas proximidades da cidade de Muçum. A partir desse ponto, o rio passa a ser chamado de rio Taquari e seu curso altera-se para o sentido norte-sul, estendendo-se por mais 140 km até desaguar no rio Jacuí, próximo à cidade de Triunfo, a uma altitude inferior a 20 metros (Bombassaro e De Souza Robaina, 2010), tendo, portanto, uma extensão de 530 km desde as nascentes até a foz (Rio Grande do Sul, 2001).

A bacia abrange áreas de 119 municípios inseridos total ou parcialmente (Rio Grande do Sul, 2001), e é subdividida em sete unidades de gestão: Alto Taquari-Antas, Médio Taquari-Antas, Prata, Carreiro, Guaporé, Forqueta e Baixo Taquari-Antas (Comitê Taquari-Antas, 2014). Nos usos de suas águas, destacam-se a irrigação, representando 79% das vazões registradas; o uso da água para abastecimento público/consumo humano, representando 13,4% das demandas totais para o Estado; o uso industrial representando 3,6% do total dos usos superficiais e o uso para dessedentação animal que é o que representa a menor parte das demandas (0,3%). Demais usos da água e cadastros que indicam mais de uma finalidade representam 3,6% das vazões (Rio Grande do Sul, 2022).

Pelas características topográficas favoráveis a geração de energia por meio de barramentos hidrelétricos, a bacia hidrográfica do rio Taquari-Antas têm sido objeto de estudos de alternativas de aproveitamento de seu potencial hidrelétrico, tendo inventariados em seu curso e no de alguns dos principais afluentes, 55 barramentos (Rio Grande do Sul, 2001). Em seu atual cenário, encontram-se onze pontos de captação de água superficial para abastecimento público, sendo dois no rio Taquari e os demais distribuídos em arroios e barragens (Bendati *et al.*, 2000).

Os rios que drenam a bacia podem ser identificados com base nas características regionais, formando sub-bacias de planalto, de encosta e de baixada (Figura 24).

Figura 24 - Classificação dos rios pela altitude na bacia Taquari-Antas.



Fonte: Adaptado de Rio Grande do Sul, 2018.

5.1.2 Hidrologia

Para a concessão da outorga de direito do uso de água nos modelos Federal e Estadual, realiza-se o balanço hídrico para regularização de usos consuntivos, comparando-se a vazão solicitada à vazão disponível a ser outorgada no local (Rio Grande do Sul, 2022). A ata de Reunião do Comitê Taquari - Antas n° 05/2012, de 29 de junho de 2012, estabeleceu o padrão da vazão de referência para a outorga na bacia Taquari - Antas como Q_{95} (vazão com garantia de 95%) (Comitê Taquari-Antas, 2012). O percentual máximo permitido para outorga, estipulado pela Resolução CRH n° 141 (Brasil, 2014), é de 50% (Rio Grande do Sul, 2014), o que implica em valores específicos de vazão de referência e máximo outorgável na bacia, conforme indicado no Tabela 1.

Tabela 1 - Vazões de disponibilidade hídrica para outorga de usos consuntivos na bacia hídrica Taquari-Antas.

DESCRIÇÃO	VALOR
Vazão de referência (Q ₉₅)	45,97 m ³ /s
Percentual máximo outorgável	50%
Vazão máxima outorgável	22,98 m ³ /s
Demanda hídrica	5,16 m ³ /s
Comprometimento da vazão outorgável (base de referência: exutório do Rio Taquari no Rio Jacuí)	22%

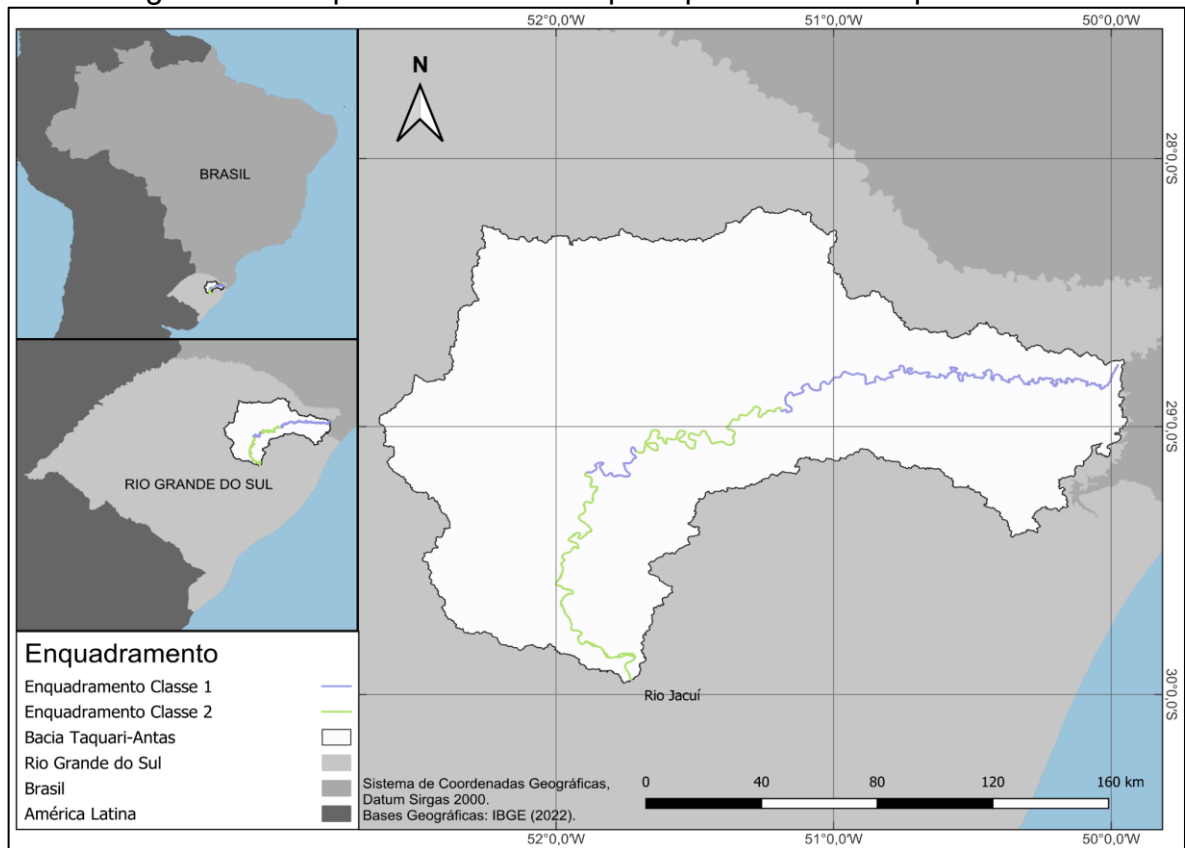
Fonte: Elaborado pela autora com base em Rio Grande do Sul (2022).

A vazão média de longo período no rio Taquari - Antas, medida no posto mais próximo a foz é de 633 m³/s ou 744 mm/ano, com a descarga específica respectiva sendo de 23 L/s/km (DRH/SEMA, 2002). E a vazão média superficial da bacia é de 20 L/s/km (Tucci et al, 2003).

5.1.3 Qualidade de água

A FEPAM realiza o monitoramento da qualidade do rio das Antas e do rio Taquari através de coletas trimestrais desde 1993 (Rio Grande do Sul, 2001). Tendo por base os dados gerados neste monitoramento, a qualidade dos rios foi classificada conforme Resolução CONAMA n° 357 (Brasil, 2005) (Figura 25).

Figura 25 - Enquadramento do rio principal da bacia Taquari-Antas.



Fonte: Elaborado pela autora com base em SEMA (2012).

5.1.4 Topografia

A bacia possui uma variação altimétrica significativa, desde as cabeceiras dos rios a mais de 1.200 metros de altitude até a foz a cerca de 5 metros, com uma declividade média acentuada de 4,8 m/km e presença de afluentes encaixados e numerosas corredeiras (Rio Grande do Sul, 2001).

5.1.5 Climatografia

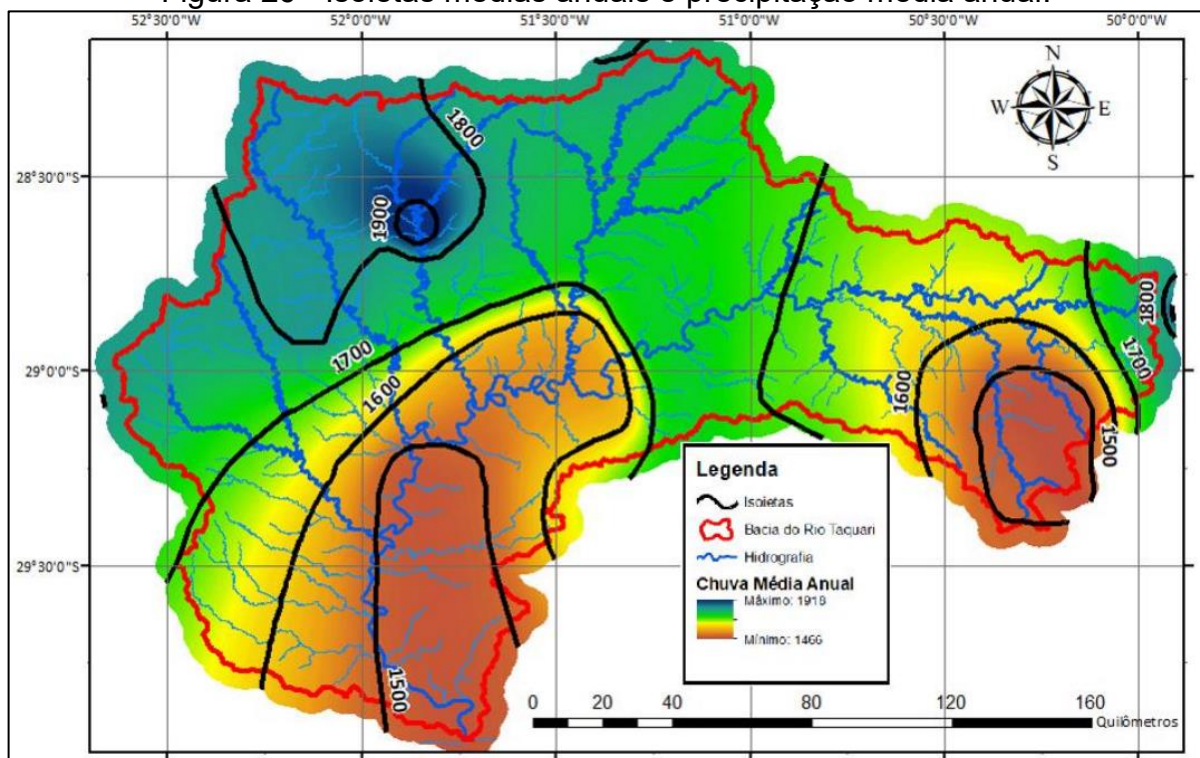
A bacia Taquari - Antas apresenta um clima predominante subtropical úmido, conforme o sistema de classificação de Köppen (2020), com duas variantes principais: Cfa e Cfb. A variante Cfa, encontrada em áreas abaixo de 600 metros de altitude, caracteriza-se por temperaturas médias variando de -3°C a 18°C no mês mais frio e acima de 22°C no mês mais quente, além de uma distribuição regular de precipitação ao longo do ano, totalizando aproximadamente 1400 milímetros anuais. Por outro lado, a variante Cfb distingue-se pela presença de temperaturas médias no mês mais

quente abaixo de 22°C e uma precipitação anual superior a 1600 milímetros, devido à altitude, predominando em áreas acima de 600 metros (Rio Grande do Sul, 2001).

No estudo da precipitação média em uma bacia hidrográfica ao longo de um período histórico, é fundamental analisar os dados de estações pluviométricas localizadas tanto dentro dos limites da própria bacia quanto em bacias hidrográficas vizinhas, que impactam na quantidade total de precipitação na área de interesse. A precipitação na região, assim como a umidade relativa do ar, geralmente apresenta uma distribuição equilibrada ao longo do ano (Onzi *et al.*, 2014). Larentis (2004), em estudo sobre a bacia do rio Taquari - Antas, observa que os regimes de precipitação ao longo do ano são bem distribuídos, com gradiente decrescente dos valores médios anuais no sentido de montante para jusante. Já a média anual de precipitação na bacia Taquari-Antas é de 1.578,71 milímetros (Onzi *et al.*, 2014).

A caracterização da precipitação na bacia hidrográfica Taquari - Antas é apresentada na Figura 26, através das isoietas médias anuais e precipitação média anual para o período de 1977 a 2006, obtidas a partir do Atlas Pluviométrico do Brasil (Pinto *et al.*, 2011).

Figura 26 - Isoietas médias anuais e precipitação média anual.

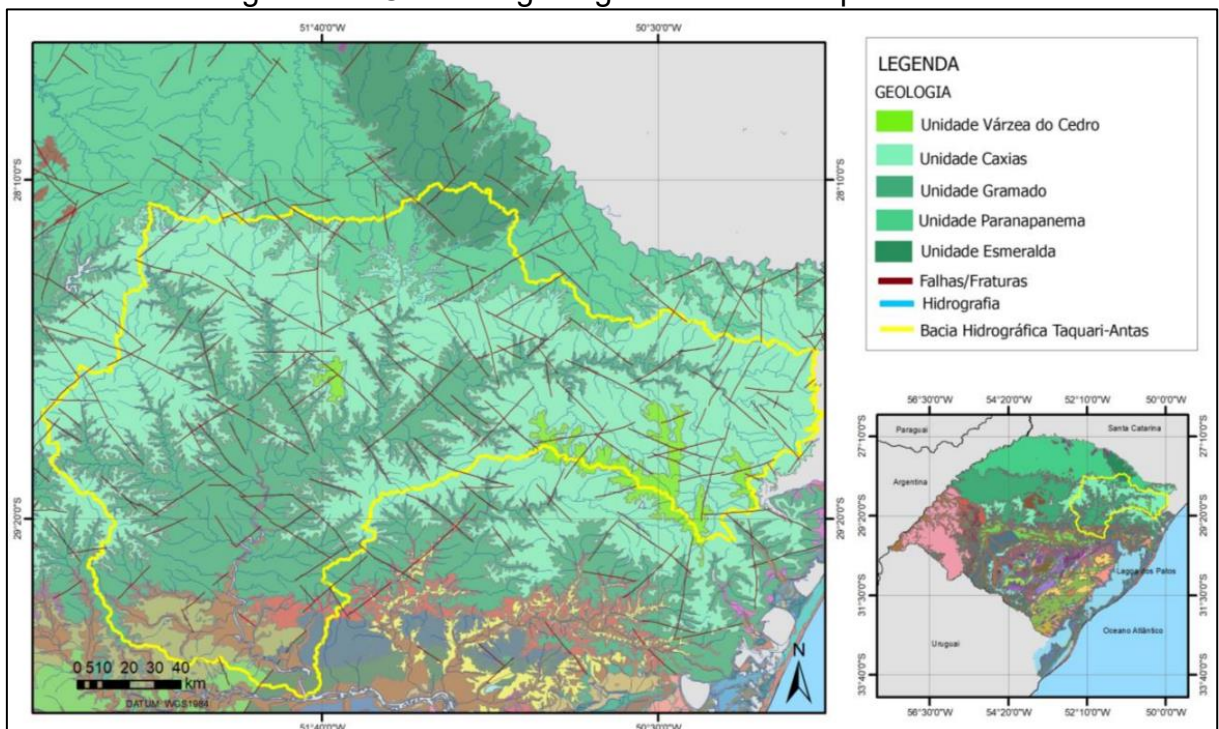


Fonte: CPRM (2021).

5.1.6 Geologia

A região de abrangência da bacia Taquari - Antas é marcada pela ocorrência de rochas vulcânicas pertencentes à Formação Serra Geral, inserida na Província Geológica do Paraná (Zalán *et al.*, 1991) (Figura 27). Incluindo suas cabeceiras e o relevo mais acidentado, os quais compostos por rochas vulcânicas dispostas em uma sucessão de derrames, resultando em uma topografia escalonada. Essa sequência de platôs está associada a variações geológicas que resultam em solos argilosos profundos, com transições para áreas de grande pedregosidade e afloramentos rochosos. Além disso, nas áreas de relevo suave e levemente ondulado, são encontradas formações de arenitos e solos arenosos altamente suscetíveis à erosão, junto com solos aluvionares que formam as planícies de inundação (DRH/Magna, 1997). A formação geológica da região originou-se de eventos vulcânicos ligados à separação dos continentes sul-americanos e africanos do antigo supercontinente Gondwana, iniciados no período Cretáceo, resultando em extensos derrames de lavas (Zalán *et al.*, 1991).

Figura 27 - Contexto geológico da bacia Taquari-Antas.



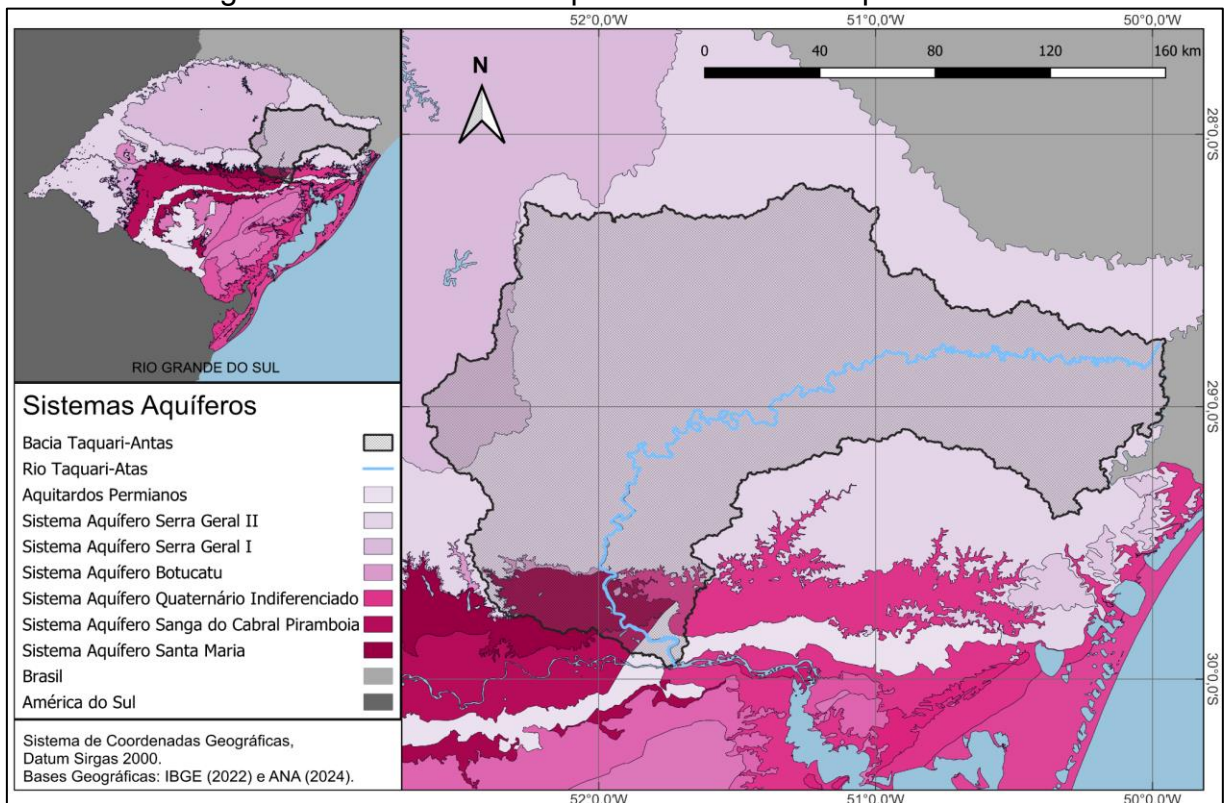
Fonte: Bortolin (2018).

A Formação Serra Geral possui um forte controle tectônico marcado pela presença de falhas e fraturas com direções preferenciais N70 - 75E, N35 - 40E e N20 - 30W (Magna, 1997). Fato marcado pela disposição da rede de drenagem que ocorre encaixada nos principais lineamentos estruturais e, conseqüentemente, define um padrão característico de quebras bruscas para os cursos fluviais (Reginato, 2003).

5.1.7 Hidrogeologia

A bacia Taquari-Antas está situada nacionalmente na Bacia do Paraná, onde os principais sistemas aquíferos estão localizados nas formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral (Figura 28), com um volume de água estimado em 50.000 km³ (Rebouças, 1988). A Formação Serra Geral, que abrange aproximadamente 90% da bacia Taquari-Antas, consiste em rochas basálticas que funcionam como aquíferos fraturados, onde a água circula através das superfícies de descontinuidades criadas por fraturas e falhas. Essa condição tectônica tem significativa importância no controle da drenagem superficial e no modelado do relevo, influenciando a formação de aquíferos, que são importantes neste contexto geológico (DRH/Magna, 1997).

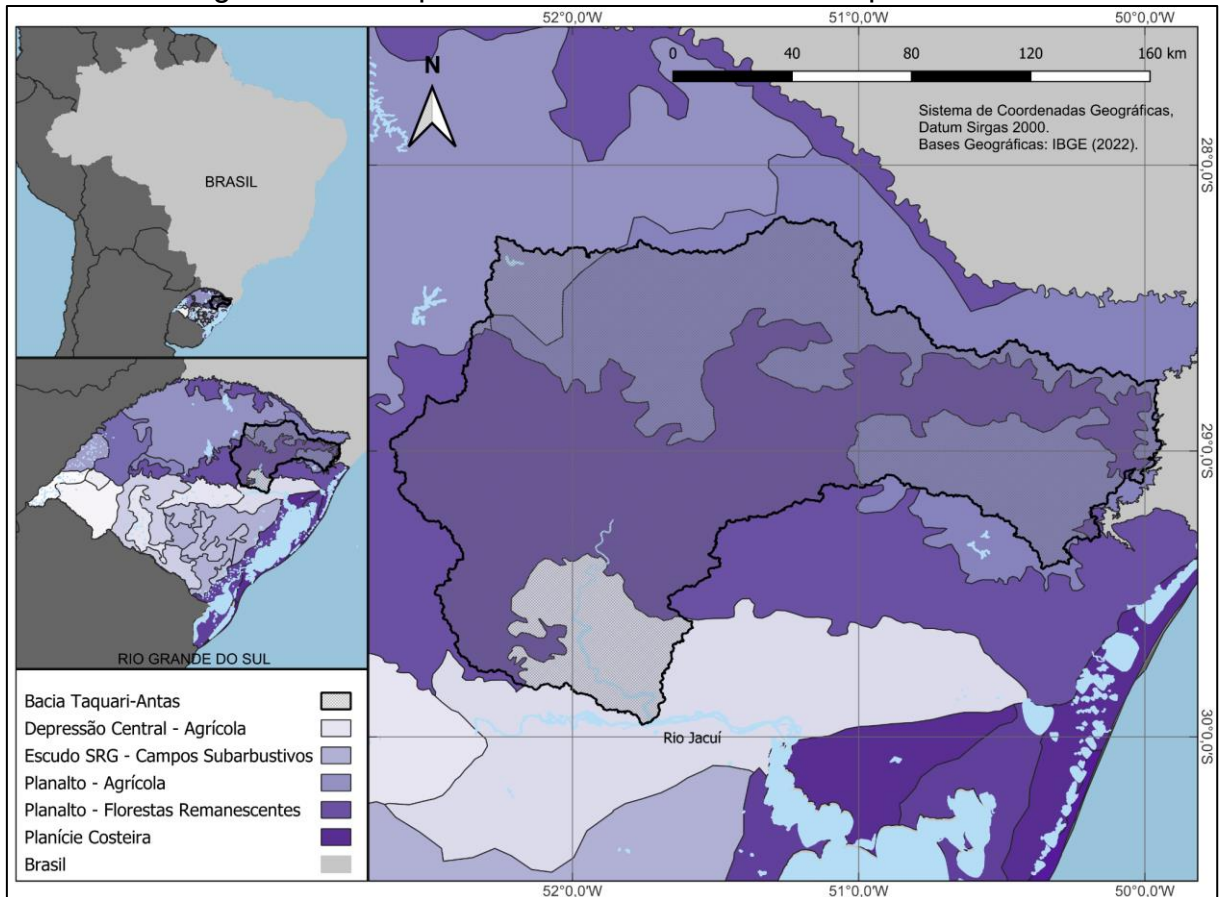
Figura 28 - Sistemas de aquíferos na bacia Taquari-Antas.



Fonte: Elaborado pela autora com base em IBGE (2022) e ANA (2024).

A área da bacia Taquari - Antas faz parte da Província Basáltica, que foi subdividida em sub-províncias conhecidas como Planalto, Borda do Planalto e Cuesta, devido às variações morfológicas, estruturais e espessura dos derrames (Hausman, 1995). As ramificações das sub-províncias presentes na área da bacia Taquari-Antas são: planalto, escudo sul-rio-grandense e depressão central (Figura 29).

Figura 29 - Sub-províncias na área da bacia Taquari-Antas.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

5.1.8 Geomorfologia

De acordo com a Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler - RS (FEPAM), a bacia hidrográfica Taquari - Antas é caracterizada por vales estreitos e profundos, além de uma densa rede de drenagem, associada a áreas de declive acentuado (Rio Grande do Sul, 2001). Essas características conferem à bacia um dos maiores potenciais de barramento no Estado do Rio Grande do Sul. Possui declives muito acentuados, com seu leito escavado em vales apertados, nas regiões

mais elevadas do Estado. As nascentes do Taquari - Antas estão a mais de 1.200 metros de altitude (Vieira, 1984).

A topografia da região proporciona características variadas aos rios que formam a bacia, conforme a variação de altitude ao longo do curso do Taquari - Antas e seus afluentes, que vai desde mais de 1.200 metros nas cabeceiras até aproximadamente 5 metros na foz (Rio Grande do Sul, 2001; Vieira, 1984). Esta diferenciação topográfica resulta em três áreas distintas na paisagem da bacia: acima de 700 metros de altitude, onde predomina o planalto entre as nascentes e a foz do rio Tainhas, com o rio Taquari - Antas caracterizado por declives acentuados (média de 4,8 m/km), afluentes encaixados e corredeiras. Entre 700 metros e 200 metros de altitude, a encosta entre a foz do rio Tainhas e a foz do rio Guaporé apresenta uma declividade menos acentuada (média de 1,6 m/km), com vales encaixados e corredeiras menos intensas. Abaixo de 200 metros de altitude, a baixada começa na foz do Guaporé e se estende até a confluência com o rio Jacuí, caracterizada por uma declividade suave (média de 0,2 m/km) e poucas corredeiras (Rio Grande do Sul, 2001).

Os rios que drenam esta bacia podem ser identificados com base nessas características topográficas regionais, formando sub-bacias típicas de planalto (acima de 700 metros de altitude), sub-bacias de encosta (entre 700 metros e 200 metros de altitude) e sub-bacias de baixada (inferior a 200 metros de altitude) (Rio Grande do Sul, 2001).

5.1.9 Pedologia

A Bacia do Taquari - Antas é compreendida, quase totalmente, por litologias da bacia do Paraná na porção médio-superior, onde se localizam os derramamentos de lava basáltica. Na porção sul e cabeceiras dos cursos d'água encontram-se os depósitos sedimentares de origem coluvial, fluvial e eólica, do quaternário recente (Rio Grande do Sul, 2001) (Figura 30).

Na Serra Geral, o relevo característico é o forte ondulado e montanhoso, e os solos que predominam são um complexo de Solos Litólicos com Cambissolo eutrófico, Brunizém Avermelhado e Terra Roxa Estruturada eutrófica, quase todos com fase pedregosa. Apesar da forte inclinação representada pelo relevo, são áreas intensamente utilizadas nas pequenas propriedades que dominam o cenário fundiário local, dado o ótimo nível de fertilidade natural (Castilho *et al.*, 2014).

Próximo à calha do Taquari, no trecho inferior, ocorrem o Brunizém Avermelhado e os Cambissolos eutróficos gleicos, em relevo plano e suave ondulado. Na Depressão Central, com a influência de outros materiais de origem, os solos aumentam sua diversidade. Destacam-se os Podzólicos Vermelho-Amarelo álicos e distróficos, textura variando entre arenosa e média, originados dos arenitos das Formações Botucatu e Rosário do Sul. Outros solos, com deficiência de drenagem, aparecem nas proximidades da foz do Taquari, como o Podzólico Bruno-Acinzentado, Planossólico eutrófico e o Planossolo eutrófico (Castilho *et al.*, 2014).

5.1.10 Vegetação

A vegetação característica desta bacia é composta por três regiões fitogeográficas associadas à Mata Atlântica: Floresta Ombrófila Mista, Floresta Estacional Decidual e Savanas (Campos de Altitude e Campos do Planalto Médio) (Leite; Klein, 1990) (Figura 31 e Tabelas 2 e 3).

Tabela 2 - Área ocupada por região fitogeográfica e respectivas áreas protegidas, representadas pelas unidades de conservação.

REGIÃO FITOGEOGRÁFICA	ÁREA DE OCORRÊNCIA (ha)	ÁREA PROTEGIDA (ha)
Savana	972.645,00	23.811,85
Floresta Ombrófila Mista	905.100,00	5.953,60
Floresta Estacional Decidual	763.812,00	0,0
Vegetação de Transição	1.243,00	0,0

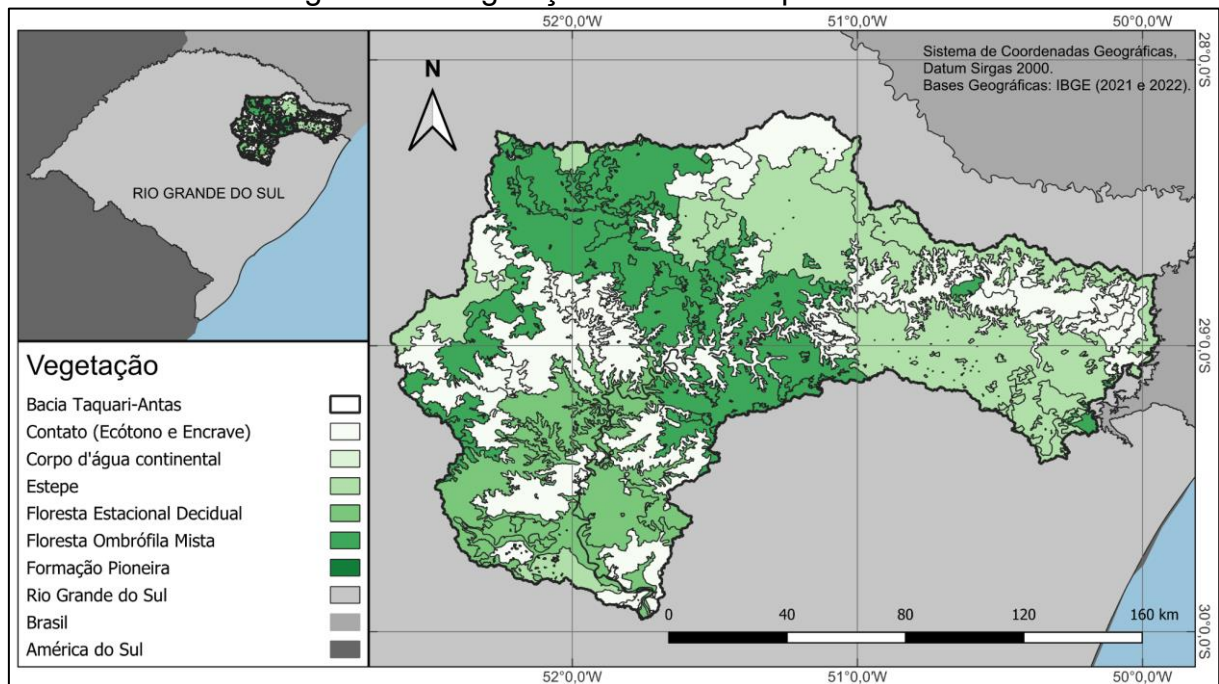
Fonte: Adaptado de Rio Grande do Sul (2018).

Tabela 3 - Unidades de conservação por região fitogeográfica.

REGIÃO FITOGEROGRÁFICA	UNIDADE DE CONSERVAÇÃO	ÁREA PROTEGIDA (ha)
Savana	Parque Estadual do Tainhas APA da Rota do Sol	4.924,00 18.887,85
Floresta Ombrófila Mista	Parque Nacional Aparatos da Serra Parque Nacional da Serra Geral Estação Ecológica de Aracuri-Esmeralda Estação Ecológica de Aratinga Floresta Nacional de Passo Fundo	1.960,00 2.042,00 272,60 351,00 1.328,00
Floresta Estacional Decidual	-	0,0
Vegetação de Transição	-	0,0

Fonte: Adaptado de Rio Grande do Sul (2018).

Figura 31 - Vegetação da bacia Taquari-Antas.



Fonte: Elaborado pela autora com base em IBGE (2021) e IBGE (2022).

A Floresta Ombrófila Mista na bacia Taquari - Antas é um ecossistema caracterizado pela predominância da *Araucaria angustifolia*, conhecida como pinheiro-brasileiro (Rambo, 1956). Considerando critérios de altitude, estaria originalmente distribuída nas áreas entre 500 metros a oeste e 1.000 metros a leste, ocupando diversas formações topográficas. A estrutura da floresta é marcada por dois andares distintos: um inferior, com árvores de meia altura e arbustos como mirtáceas e *Schinus spinosus*, e um superior dominado pelas imponentes Araucárias (Leite; Klein, 1990).

A Floresta Estacional Decidual ocorre em altitudes inferiores a 500 metros, e é uma formação vegetal caracterizada pela transição marcante entre estações, influenciada pelo clima ombrófilo sem período seco. Esta floresta se adapta aos períodos quente-úmido e frio, resultando na decidualidade de sua cobertura superior (Leite; Klein, 1990). Os estratos incluem árvores emergentes como grápia, angico-vermelho e louro-pardo, enquanto o estrato arbustivo é dominado por espécies como o cincho e a laranjeira-do-mato (Rambo, 1956). Composta também por um estrato herbáceo denso, esta floresta revela uma estrutura complexa adaptada às variações climáticas sazonais, encontrada em bom estado de conservação em encostas íngremes dos vales, de difícil acesso e impróprios para práticas agrícolas (Leite; Klein, 1990).

As savanas, representadas pelos campos, ocupam áreas de altitudes superiores aos 700 metros, com matas de galeria ao longo dos cursos d'água e remanescentes florestais em estágio de regeneração avançada (Rio Grande do Sul, 2018). São caracterizadas por diferentes tipos de vegetação adaptada ao clima tropical com estação seca. A Savana Gramíneo-Lenhosa abrange vastas áreas, especialmente nos campos, de solos rasos e afloramentos rochosos, predominando espécies como capim-caninha (*Andropogon lateralis*) e diversas gramíneas, ciperáceas e leguminosas. Nas regiões de derrames ácidos e solos litólicos do Pré-Cambriano, essa savana se manifesta com uma vegetação rasteira de hemicriptófitos e geófitas, adaptados às condições oligotróficas (Rambo, 1956; Leite e Klein, 1990). A Savana Arbórea Aberta é outra forma observada, com estratos esparsos de árvores escleromórficas em terrenos aplainados areníticos, enquanto a Savana-Parque, tanto natural quanto de origem antrópica, apresenta uma estrutura vegetal mais uniforme, com agrupamentos de arbustos e árvores dispersos entre hemicriptófitos e caméfitas. Essas formações vegetais demonstram adaptações às condições edáficas específicas e à interação complexa entre clima e solo na região (Leite e Klein, 1990).

5.1.11 Uso do solo

A ocupação e o uso do solo, ao longo da referida bacia, são intensamente diversificados, no curso baixo e médio do rio principal, onde estão concentrados municípios densamente povoados ou ainda, aqueles onde a agricultura e a indústria são a principal atividade econômica. Além disso, alguns municípios concentram

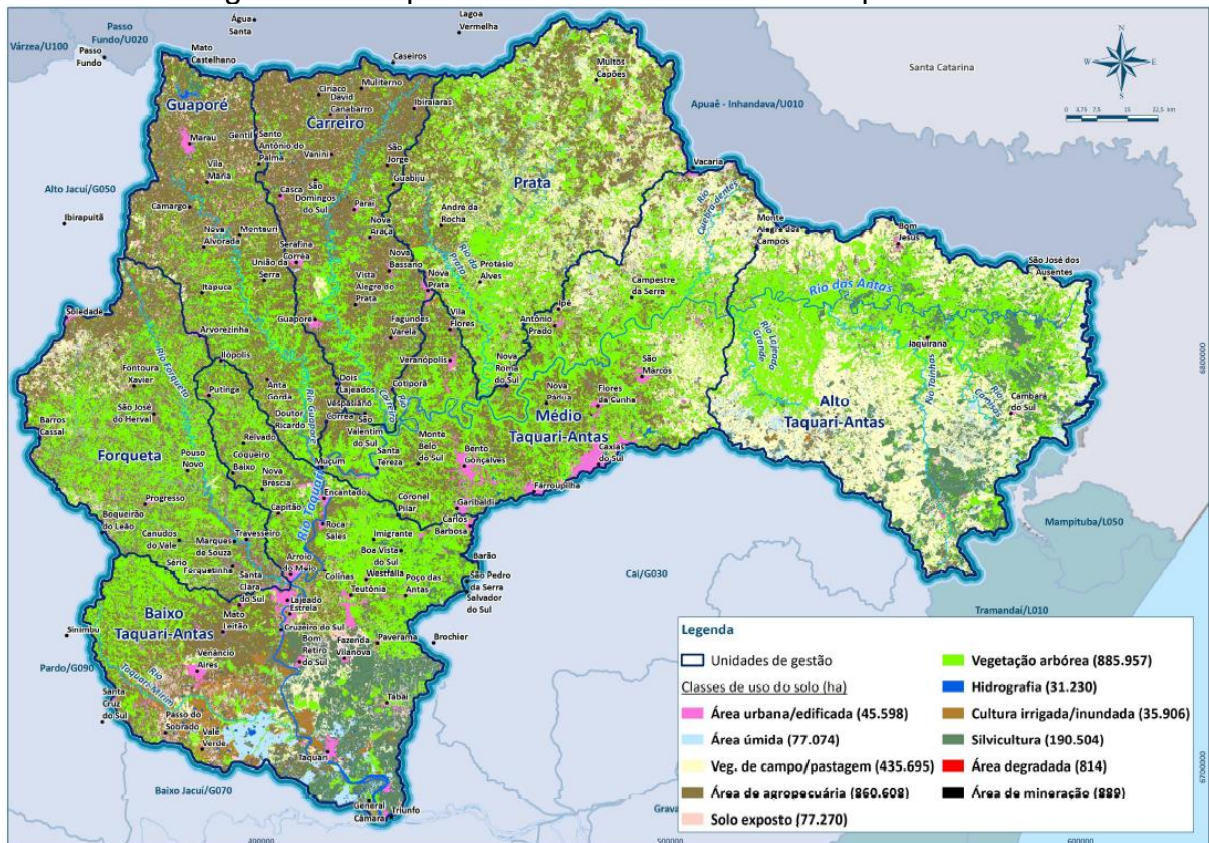
ambas as características, as quais mudam significativamente na parte alta da bacia, onde predomina a atividade agropecuária extensiva, em propriedades rurais de médio porte, e as baixas densidades demográficas (Rio Grande do Sul, 2018). Na Tabela 4 e Figura 32 são apresentados os usos do solo na bacia hidrográfica.

Tabela 4 - Usos do solo na bacia Taquari-Antas.

CLASSES DE USO	ÁREA (ha)	PARTICIPAÇÃO (%)
Área de agropecuária	860,608	32,58
Área de mineração	889	0,03
Área degradada	814	0,03
Área edificada	45,598	1,73
Área úmida	77,074	2,92
Cultura irrigada/inundada	35,906	1,36
Hidrografia	31,23	1,18
Silvicultura	190,504	7,21
Solo exposto	77,27	2,93
Vegetação arbórea	885,957	33,54
Vegetação de campo ou pastagem	435,695	16,49

Fonte: Adaptado de Panazzolo *et al.* (2013).

Figura 32 - Mapa de usos no solo na bacia Taquari-Antas.



Fonte: Panazzolo et al. (2013).

Segundo Panazzolo *et al.* (2013) a Figura 32 apresenta a divisão nos usos da bacia Taquari - Antas, destacando-se duas principais categorias: agropecuária e vegetação arbórea. A vegetação arbórea é especialmente preservada em locais de difícil acesso devido ao relevo acidentado da região serrana gaúcha. Por outro lado, as áreas de agropecuária dominam nas partes média e baixa da bacia. Outras atividades antrópicas, como a silvicultura, representam uma parcela menor de uso na bacia, concentrando-se principalmente nas regiões de maiores altitudes. Quanto às coberturas naturais do solo, além da vegetação arbórea, destacam-se os campos ou pastagens, predominantes nas regiões de altitudes mais elevadas.

5.1.12 População

A bacia Taquari - Antas possui uma população de 1.394.359 habitantes (SEMA, 2022), representando aproximadamente 18% da população do Estado e abrange totalmente ou parcialmente 119 municípios (SEMA, 2022). Grande parte da população vive em áreas urbanas (78,2%) e uma pequena parcela nas áreas rurais (21,8%)

(SEMA, 2022). A região denominada de Aglomerado Urbano do Nordeste, uma das mais desenvolvidas no Estado, encontra-se nesta bacia. O extremo nordeste do Taquari - Antas é ocupado pelos municípios de maior área e menor densidade populacional, onde predomina a criação extensiva de gado. No trecho médio, a paisagem rural começa a se transformar. Na altura do município de Antônio Prado, a região se caracteriza pela predominância de pequenas propriedades com uso intensivo, onde a densidade demográfica já é mais elevada. Já entre os municípios de Antônio Prado e Veranópolis, existe a maior concentração populacional, cerca de 50% da bacia. A grande maioria das propriedades são pequenas e a densidade demográfica é elevada (Rio Grande do Sul, 2018).

5.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

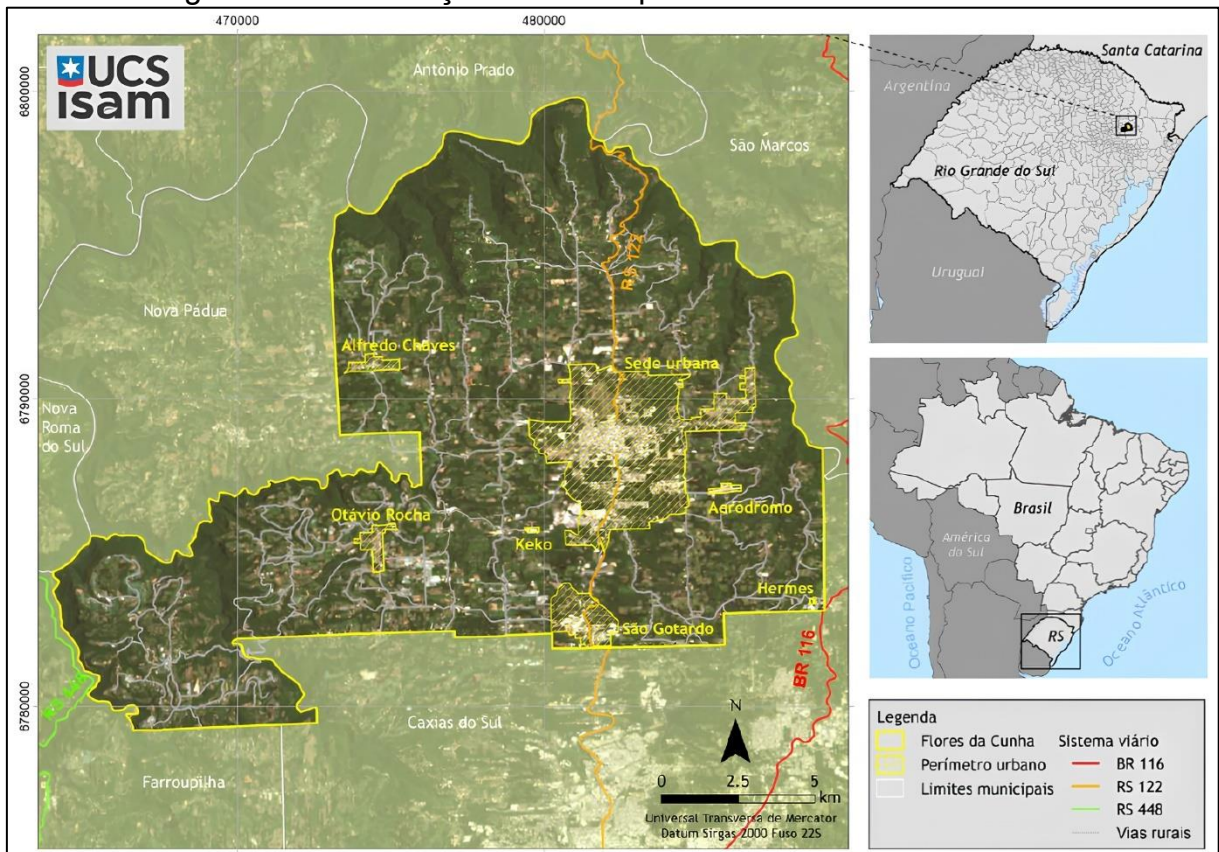
Nesta seção, será realizada a caracterização do município de Flores da Cunha, abordando aspectos territoriais gerais, além do diagnóstico do sistema de abastecimento de água para consumo humano sob a responsabilidade do Poder Público.

5.2.1 Município de Flores da Cunha - RS

O município de Flores da Cunha está localizado na Região Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul (Figura 33), e integra a Microrregião de Caxias do Sul e a Mesorregião Nordeste Rio-Grandense (Brasil, 1990). Faz parte também da Região Metropolitana da Serra Gaúcha conforme Lei Complementar nº 15.245 de dezembro de 2018 (Rio Grande do Sul, 2018).

O município é dividido em três distritos: Otávio Rocha, Mato Perso e Flores da Cunha. Limita-se ao Norte e Oeste com os municípios de Antônio Prado, Nova Roma do Sul e Nova Pádua, à Nordeste com o município de São Marcos, à Sudeste e Sul com o município de Caxias do Sul, à Sul e Sudeste com o município de Farroupilha. Está distante aproximadamente 145 km da Capital do Estado, Porto Alegre (Prefeitura Municipal de Flores da Cunha, 2014).

Figura 33 - Localização do município de Flores da Cunha – RS.



Fonte: ISAM (2023) com base em DAER (2014) e IBGE (2022).

Tem como vias de acesso à rodovia federal BR 116 e a rodovia estadual ERS 122 (Prefeitura Municipal de Flores da Cunha, 2014). É um município de médio-pequeno porte (IBGE, 2017), o qual possui uma área municipal de 276,241 km² (IBGE, 2022), estando a uma altitude média de 710 metros; latitude -29,029° e longitude -51,182° (Prefeitura Municipal de Flores da Cunha, 2014).

5.2.1.1 Formação Municipal

A região da Serra Gaúcha, localizada no Estado do Rio Grande do Sul, foi historicamente habitada por índios caingangues nômades desde tempos imemoriais (Mota, 1994). A ocupação do território que hoje constitui o município de Flores da Cunha ocorreu a partir de 1876, com a chegada de imigrantes, principalmente do Norte da Itália. Esse movimento migratório foi impulsionado pelo programa de colonização do governo brasileiro, que tinha como objetivos principais povoar áreas pouco habitadas, promover a miscigenação da população e estabelecer um sistema

agrícola baseado em pequenas propriedades, com mão de obra livre e proprietária, capaz de suprir o mercado interno com produtos agropecuários (De Boni, 2000).

Antes de se tornar município, as terras cedidas aos imigrantes eram denominadas de colônias e subdivididas em léguas, que por sua vez eram divididas em linhas ou travessões, e estas em lotes. O maior volume de imigrantes italianos que chegaram na região ocorreu entre os anos de 1878 e 1892, fundando os povoados de São Pedro e posteriormente, o de São José, ambos localizados onde hoje é o centro da sede municipal, distantes um quilômetro um do outro. Após alguns anos, devido à escassez de água e à maior distância dos rios, todos os habitantes de São José mudaram-se gradualmente para São Pedro, aumentando sua população (Camargo, 2013). Já no final dos anos de 1880, os dois povoados foram agregados e passaram a formar a Vila de Nova Trento (Prefeitura de Flores da Cunha, 2024).

A seleção locacional do perímetro da região da Vila de Nova Trento já havia sido demarcada pelo engenheiro Diogo dos Santos, que, no planejamento do território, levou em consideração a topografia e a hidrografia para a seleção locacional, estudo realizado excepcionalmente em pontos da bacia Taquari-Antas. Entretanto, a topografia nem sempre permitia que o plano fosse seguido, dando prioridade para terrenos menos acidentados (Frosi; Mioranza, 2009).

Em 1924, a região conquistou sua emancipação, tornando-se um município. O novo município foi oficialmente instalado em 24 de maio do mesmo ano e incluiu os territórios que antes pertenciam a Nova Pádua, então 4º Distrito de Caxias, além de Otávio Rocha e Mato Perso, atualmente 3º e 4º Distritos de Flores da Cunha. Nova Pádua, por sua vez, foi emancipado de Flores da Cunha em 1992 (Prefeitura Municipal de Flores da Cunha, 2024).

5.2.2 Ocupação territorial do município

Do total de 276,24 km² de área do município de Flores da Cunha (IBGE, 2022), 22,93 km² referem-se ao perímetro urbano central, enquanto 4,81 km² correspondem a perímetros urbanos em outras áreas. Essas áreas somam 27,74 km², representando 10,04% da área municipal (Prefeitura Municipal de Flores da Cunha, 2023b). Os 89,96% restantes da área do município são classificados como áreas rurais.

Na área do município não foram encontradas comunidades remanescentes de quilombos (INCRA, 2023), nem terras indígenas (FUNAI, 2021).

5.2.3 Recursos hídricos superficiais

No âmbito do mapeamento dos cursos hídricos municipais, identificou-se as principais bacias hidrográficas que drenam o município, assim como seus afluentes. A Figura 34 ilustra os cursos hídricos e as bacias delimitadas, enquanto a Tabela 5 apresenta uma discriminação das áreas de cada bacia, sua nomenclatura, a bacia à qual pertencem e a porcentagem de sua área que se insere dentro dos limites municipais.

O município está inserido na Região Hidrográfica do Guaíba, que por sua vez localiza-se inteiramente sobre o domínio da Bacia Hidrográfica Taquari–Antas, o que torna imperativo apoiar o estudo sob o Plano da Bacia Taquari-Antas no que diz respeito ao enquadramento dos cursos hídricos e às ações planejadas para a área de abrangência da bacia. Esse plano contempla iniciativas voltadas para o sistema de esgotamento sanitário urbano, o gerenciamento de resíduos sólidos, a recomposição da vegetação e a conservação do solo e dos recursos hídricos (Rio Grande do Sul, 2012).

No Plano Municipal de Saneamento Básico de Flores da Cunha (2024) são identificados dentro do território municipal, as sub-bacias do Rio Tega, que abrange os perímetros urbanos; a sub-bacia do Rio São Marcos, que também drena as áreas urbanas; e a sub-bacia do Arroio Biazus, que se encontra no município, mas cuja área não está inserida nos perímetros urbanos.

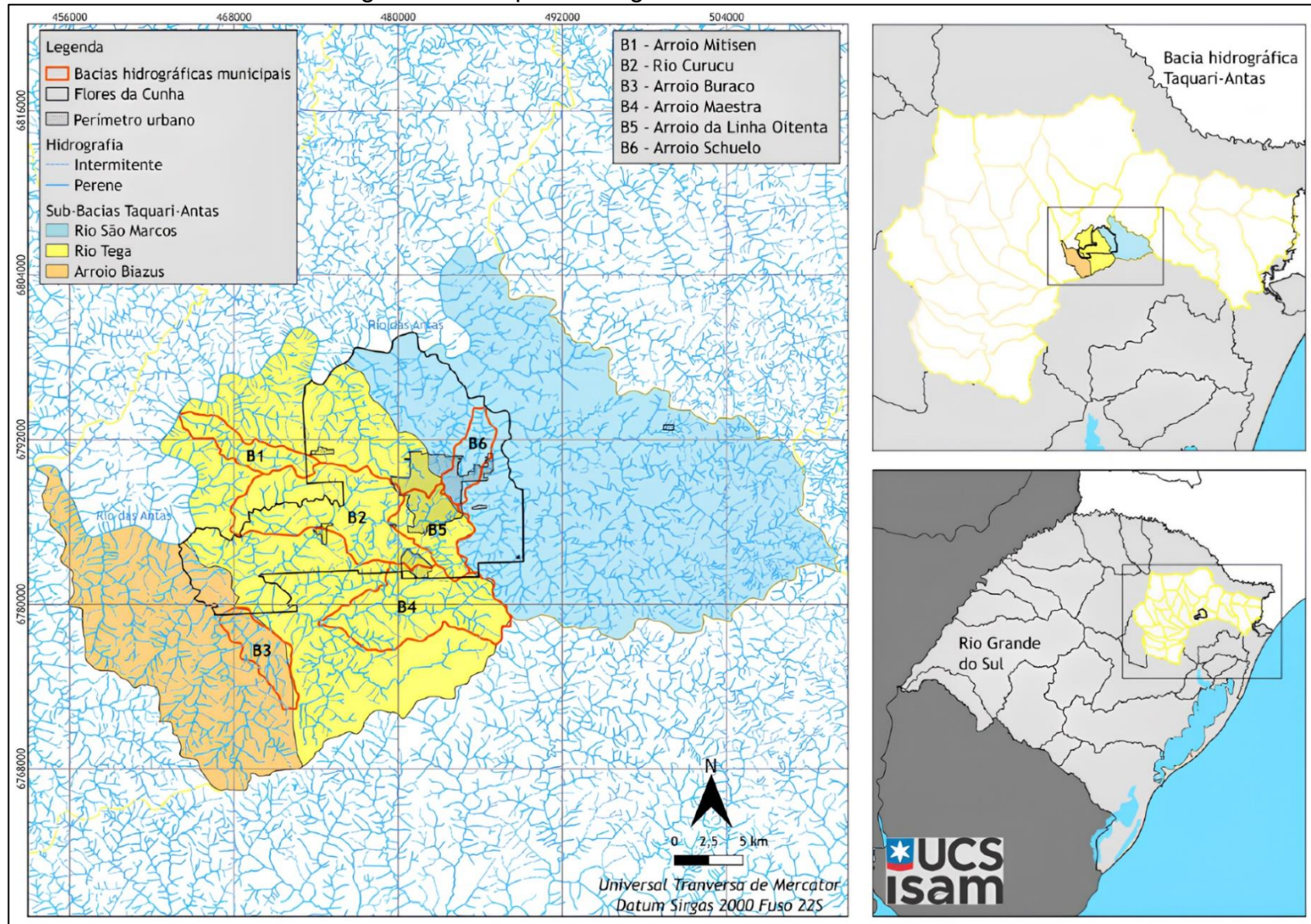
Conforme estabelecido na Lei do Plano Diretor, a Lei Complementar n° 149, de 26 de setembro de 2019, e sua alteração pela Lei Complementar n° 172, de 29 de junho de 2022, foi instituída a Zona Residencial das Águas, localizada sobre a microbacia hidrográfica de captação do município. Nesse espaço, prevê-se a preservação do manancial hídrico com o intuito de garantir o abastecimento de água. Assim, essa área é predominantemente destinada à habitação e ao lazer, apresentando baixa densidade de ocupação, e permitindo atividades comerciais, prestação de serviços e indústrias de pequeno porte (Prefeitura Municipal de Flores da Cunha, 2019; 2022).

Tabela 5 – Sub-bacias hidrográficas de Flores da Cunha – RS.

Bacia Hidrográfica	Sub-bacias e microbacias	Identificação no mapa	Área (km ²)	Área inserida no município	Área inserida nos perímetros urbanos
Taquari-Antas	Arroio Biazus		203,14	5,56%	-
	Arroio Buraco	B3	18,12	3,75%	-
	Rio São Marcos		511,56	18,54%	7,99 km ² ; 1,5% (Sede urbana e Aeródromo)
	Arroio Schuelo	B6	14,04	100%	4,51 km ² ; 5% (Sede urbana)
	Rio Tega		429,99	39,50%	19,74 km ² ; 5% (Sede urbana, São Gotardo, Keko, Alfredo Chaves e Otávio Rocha)
	Arroio Mitisen	B1	17,74	5,24%	-
	Rio Curucu	B2	86,34	80,91%	11,04 km ² ; 13% (Sede urbana, São Gotardo, Keko, Otávio Rocha)
	Arroio Maestra	B4	53,49	6,77%	1,25 km ² ; 7% (São Gotardo)
	Arroio Linha Oitenta	B5	22,85	99,43%	8,81 km ² ; 38% (Sede urbana e Keko)

Fonte: Adaptado de ISAM (2023).

Figura 34 – Mapa hidrológico de Flores da Cunha – RS.



Fonte: ISAM (2023) adaptado de HASENACK e WEBBER (2023).

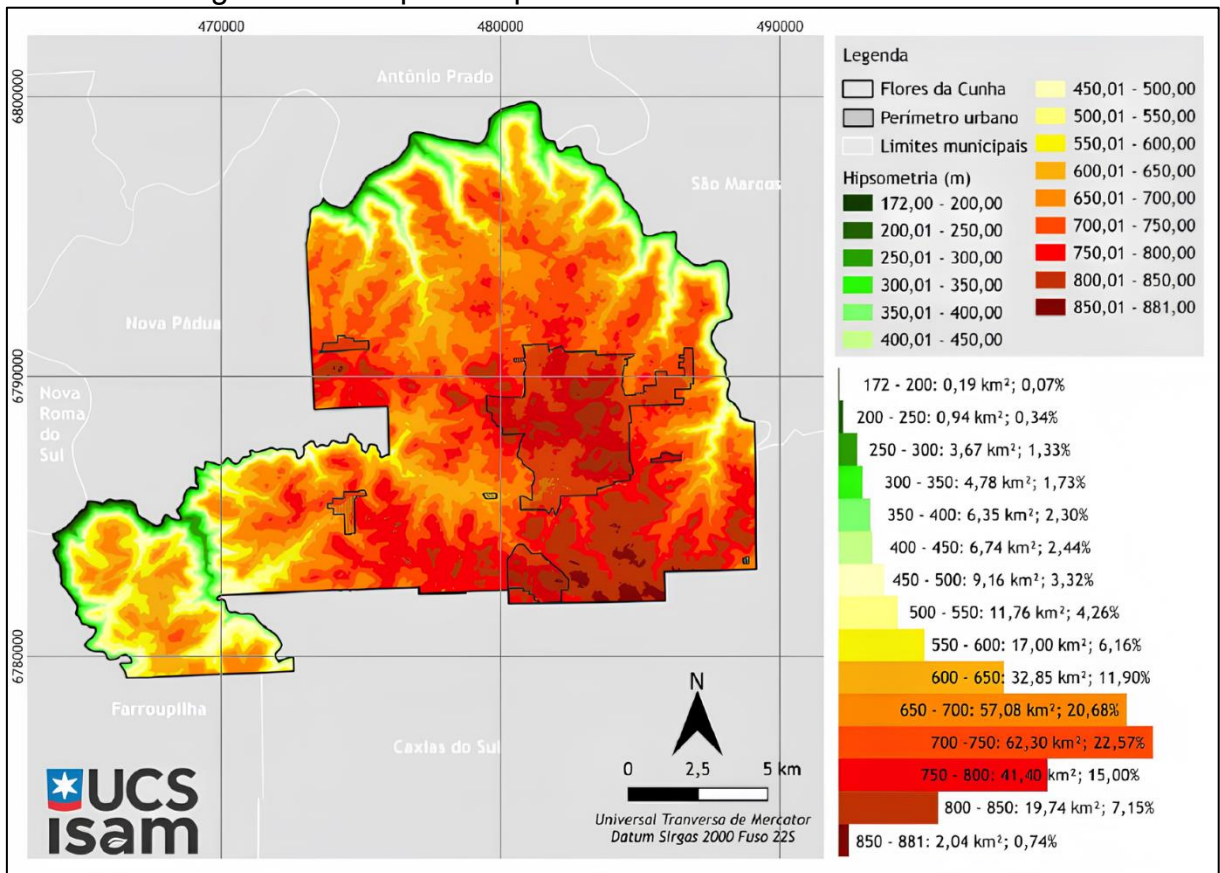
5.2.4 Hipsometria

O mapa de hipsometria ilustra as altitudes na área do município. A relação entre hipsometria e declividade é crucial para caracterizar o relevo, auxiliando na tomada de decisões sobre a expansão urbana, o potencial de erosão do solo, a hidrografia e a localização de bacias hidrográficas, além do planejamento de redes de água, esgoto e drenagem (Prefeitura Municipal de Flores da Cunha, 2024).

De acordo com o mapa de hipsometria do município de Flores da Cunha, apresentado na Figura 35, a altitude varia em um total de 709 metros. Contudo, 76% da área do município, que totaliza 210,64 km², está situada entre 550 e 800 metros de altitude. As menores altitudes são encontradas nas porções norte e oeste, próximas a cursos hídricos, e aumentam até o centro do município, onde se localiza o perímetro urbano de Flores da Cunha (Prefeitura Municipal de Flores da Cunha, 2024).

No perímetro urbano da sede do município, as altitudes variam de 650 a 850 metros, com 73% dessa área na faixa de 700 a 800 metros. Já no perímetro urbano de São Gotardo, a altitude varia entre 700 e 881 metros. As demais áreas urbanas apresentam variações menores: Alfredo Chaves tem altitudes entre 700 e 750 metros, Otávio Rocha entre 650 e 750 metros, Keko varia de 600 a 650 metros e no Aeródromo, a variação é de 750 a 800 metros.

Figura 35 – Mapa de hipsimetria de Flores da Cunha – RS.



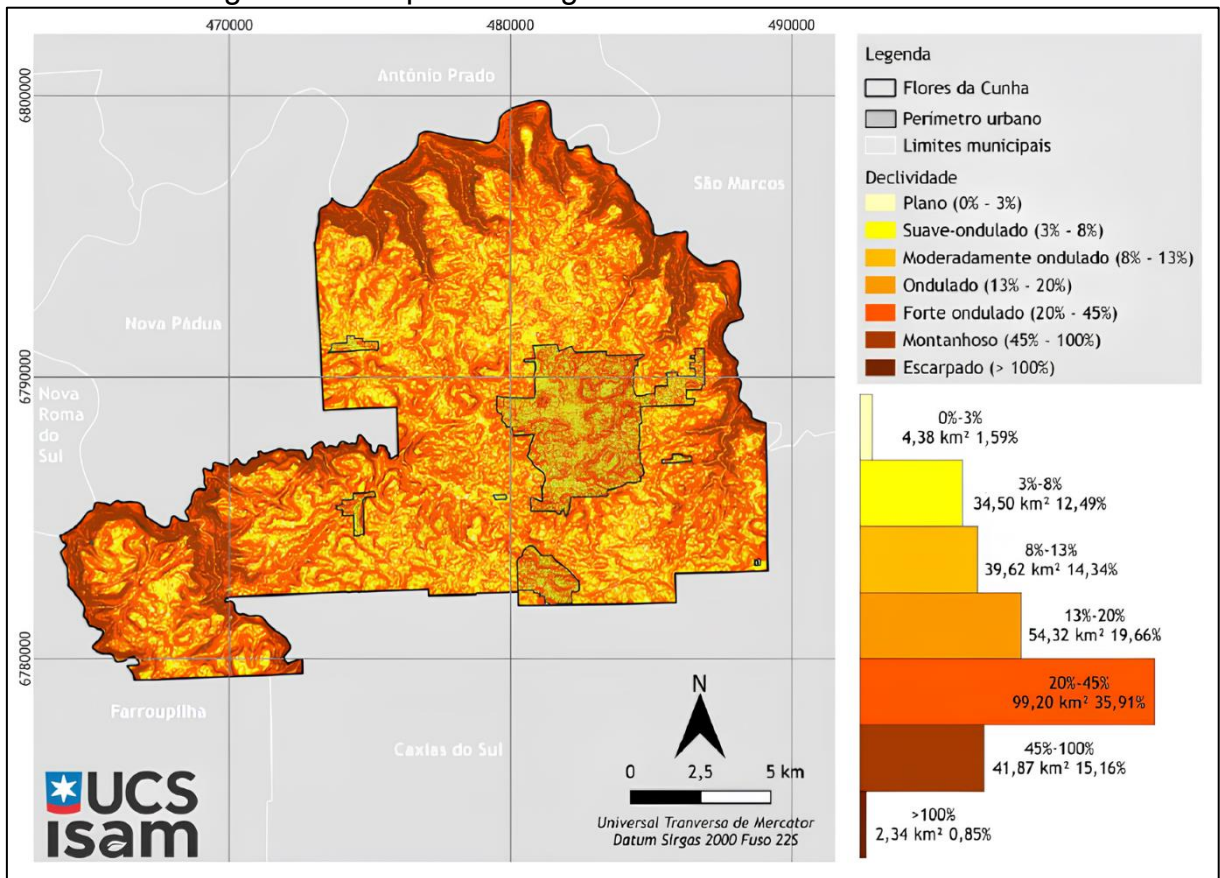
Fonte: ISAM (2023) com base em HASENACK e WEBBER (2023).

5.2.5 Clinografia

O mapa de declividade, ou mapa de clinografia, representa a inclinação do terreno e é fundamental para a análise de áreas. A declividade deve ser considerada tanto em projetos de construção, que impactam o solo, quanto em áreas com solo exposto, onde a inclinação influencia significativamente o escoamento superficial, especialmente nas regiões de maior declividade (Prefeitura Municipal de Flores da Cunha, 2024).

Conforme a Figura 36, o município apresenta um relevo que varia de plano a escarpado (0% - >100%). As áreas com maior inclinação estão localizadas próximas aos cursos hídricos, especialmente nas regiões norte e oeste do município, onde também se observa a presença de vegetação arbórea. À medida que se avança para o centro do município, incluindo a área urbana de Flores da Cunha, a declividade tende a ser mais suave (Prefeitura Municipal de Flores da Cunha, 2024).

Figura 36 - Mapa de clinografia de Flores da Cunha – RS.



Fonte: ISAM (2023) com base em HASENACK e WEBBER (2023).

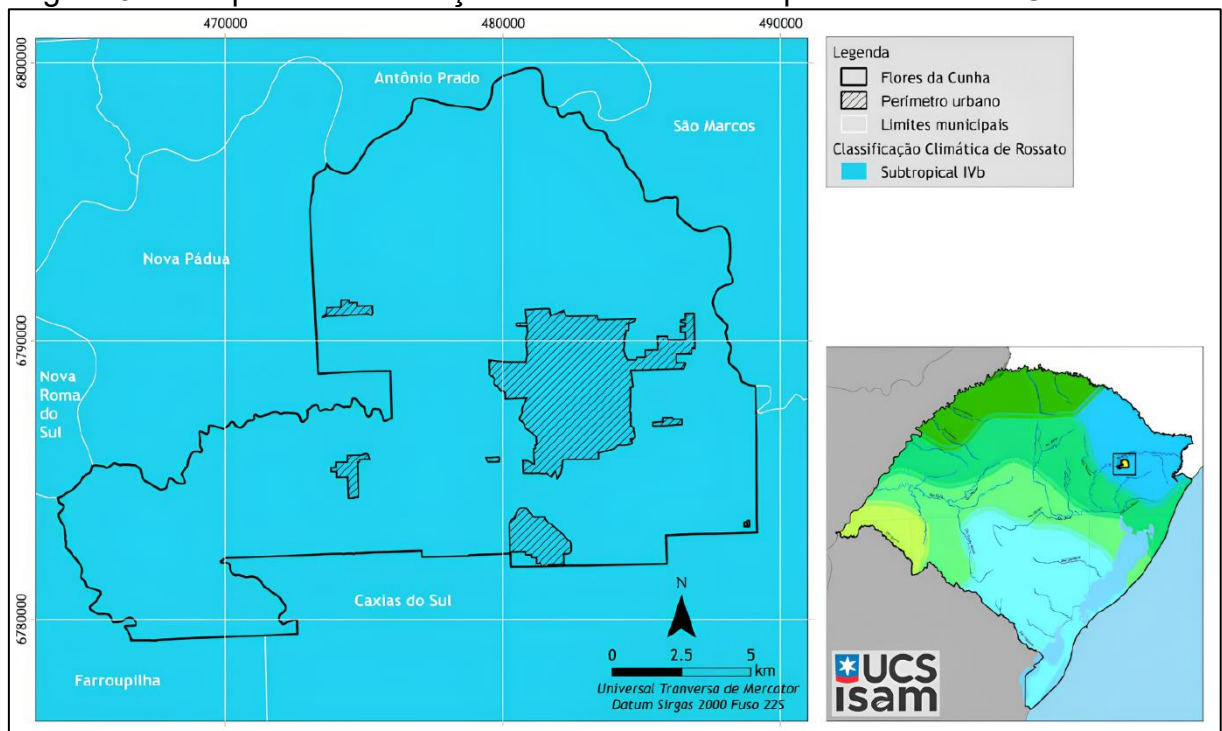
No município de Flores da Cunha, de acordo com a Lei Federal nº 6.766 (Brasil, 1979), a qual limita o parcelamento do solo em áreas com declividade superior a 30%, há 163,85 km² disponíveis para parcelamento do solo, representando 59% da área total do município. E dentro do perímetro urbano, 82% das áreas apresentam declividade de até 30% (Prefeitura Municipal de Flores da Cunha, 2024).

No intervalo de 25° a 45° de inclinação, que no município corresponde a 40,65 km² (ou 14,72% da área total), essas áreas são classificadas como de uso restrito pela Lei Federal nº 12.651 (Brasil, 2012). Nelas, é permitido manter o uso agrossilvipastoril e suas estruturas já consolidadas, mas é vedada a conversão de novas áreas nesse intervalo de declividade. As áreas com declividade superior a 45° são classificadas como Áreas de Preservação Permanente, conforme a mesma lei, e representam 0,85% da área total do município (2,34 km²) (Prefeitura Municipal de Flores da Cunha, 2024).

5.2.6 Climatologia

De acordo com Rossato (2011), o município de Flores da Cunha se classifica sob o clima subtropical IVb, caracterizado por ser muito úmido, com invernos frescos e verões quentes. Parte da área está próxima à zona de transição para o clima subtropical IVa, que é muito úmido, apresentando invernos frios e verões frescos (Figura 37). A região onde o município localiza-se é marcada por precipitações elevadas, variando entre 1.883 milímetros e 2.063 milímetros, bem distribuídas ao longo do ano, e uma umidade relativa do ar que geralmente fica entre 75% e 80%. A altitude local contribui para invernos frios e verões amenos, com a temperatura média anual oscilando entre 2°C e 15°C (Prefeitura Municipal de Flores da Cunha, 2024).

Figura 37 – Mapa da classificação climática do município de Flores da Cunha – RS.

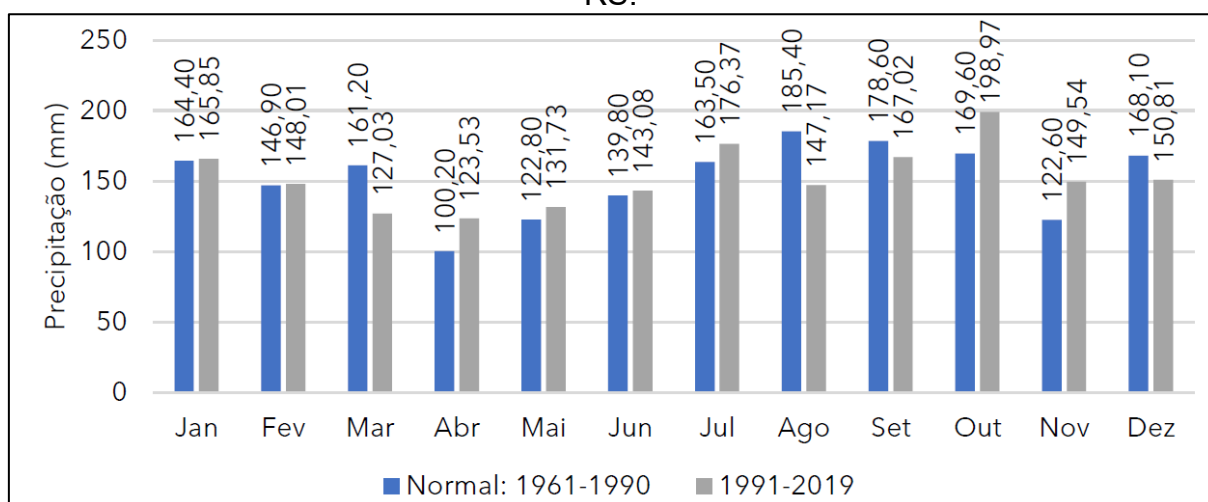


Fonte: ISAM (2023) adaptado de Rossato (2011).

Com base na normal climatológica do período de 1961 a 1990, fornecida pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), é viável realizar uma análise climática do município. Breda, Vigolo e Schneider (2021) empregaram dados da estação convencional de Caxias do Sul, identificada pelo código 83942, para realizar o estudo sobre Flores da Cunha.

Quanto à precipitação, a distribuição anual das chuvas sobre o município se comporta de maneira uniforme, conforme ilustrado na Figura 38. Observa-se uma diferença nos valores médios de precipitação mensal entre a normal climatológica e a série histórica subsequente, embora as médias sejam semelhantes, com 151,93 milímetros e 152,42 milímetros, respectivamente. O outono permanece como a estação mais seca, enquanto a primavera, anteriormente a menos chuvosa, agora é a mais úmida.

Figura 38 – Gráfico da variação da precipitação média mensal em Flores da Cunha – RS.



Fonte: Breda; Vigolo; Schneider (2021).

Com base nas médias de precipitação e temperatura, consideradas as variáveis primordiais do Modelo de Köppen-Geiger (Köppen; Geiger, 1928), Breda, Vigolo e Schneider (2021) categorizaram o clima de Flores da Cunha como Cfb, caracterizando-o como um subtropical úmido em todas as estações do ano.

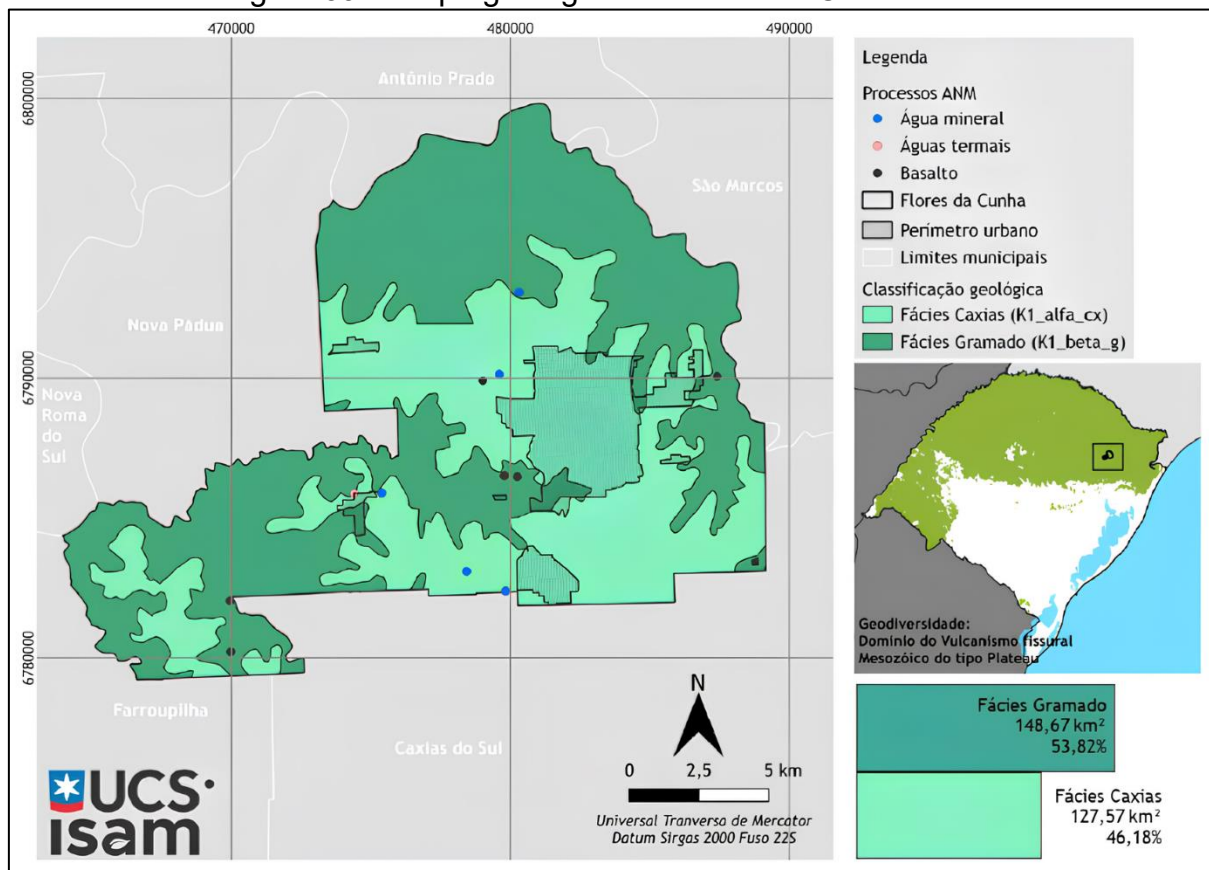
5.2.7 Geologia

O município de Flores da Cunha está situado em duas classes geológicas. As Fácies Caxias ocupam 46,18% (127,57 km²) da área total, enquanto as Fácies Gramado correspondem a 53,82% (148,67 km²) (Figura 39) (Prefeitura Municipal de Flores da Cunha, 2024).

As Fácies Gramado são compostas por derrames basálticos que costumam aparecer em altitudes entre 150 e 650 metros (CPRM, 2006; Garcia, 2012). As Fácies Caxias, por sua vez, são derrames basálticos mais recentes, não necessariamente

sobrepostos. As Fácies Gramado consistem em rochas basálticas, enquanto as Fácies Caxias apresentam alta concentração de sílica, formando rochas semelhantes ao granito (CPRM, 2006).

Figura 39 – Mapa geológico de Flores da Cunha – RS.



Fonte: ISAM (2023) com base em ANM (2023), CPRM (2006).

A região abrangida pelo município faz parte da Bacia Sedimentar do Paraná, que é uma bacia intracratônica de idade Paleozóica-Mesozóica caracterizada pela presença de sequências de rochas sedimentares e rochas ígneas vulcânicas (Prefeitura Municipal de Flores da Cunha, 2014).

O município está inserido na sequência básica da Formação Serra Geral, que predomina grandemente em área e volume sobre a ácida, compreende derrames de basalto, andesito e basalto com vidro, além de brechas vulcânicas e sedimentares, diques e soleiras de diabásio e corpos de arenitos interderrames (Rio Grande do Sul, 2014).

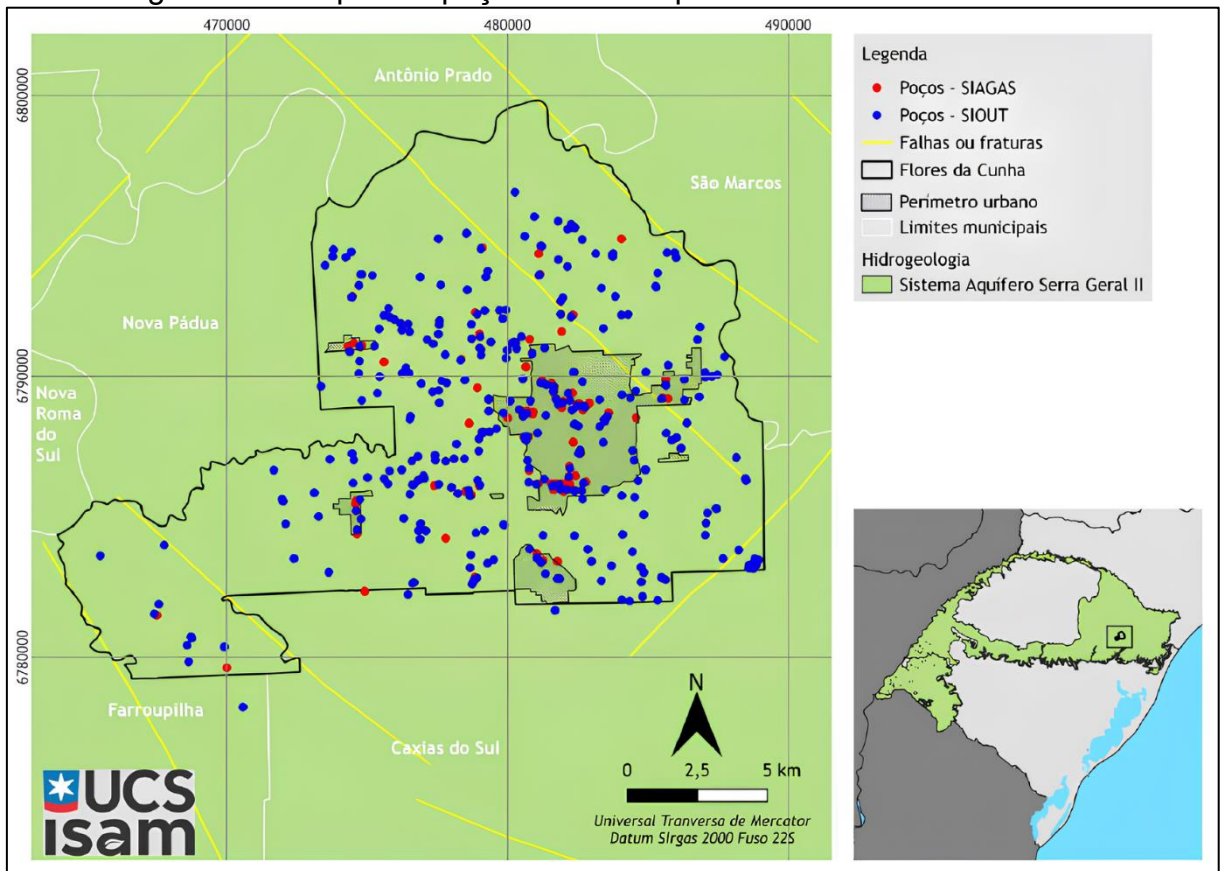
5.2.8 Recursos hídricos subterrâneos

O município possui água subterrânea resultante da sua formação geológica, realizada no Sistema Aquífero Serra Geral II, caracterizado como aquífero que varia de livre a semiconfinado, fraturado, com baixa produtividade de águas subterrâneas, de uma formação basáltica que forma um sistema descontínuo e heterogêneo, apresentando vazões variáveis, que vão de 10 a 100 m³/h (CPRM, 2014). As águas subterrâneas no município são utilizadas principalmente para o abastecimento humano, como também, pelas indústrias, dessedentação de animais e irrigação (Prefeitura Municipal de Flores da Cunha, 2014).

Após análise dos dados do SIAGAS (2024), foram encontrados 99 poços no município, dos quais 70 encontram-se operacionais (Tabela 6). No SIOUT (2024), existem 390 processos registrados para a exploração de água subterrânea, com diversas finalidades, como: abastecimento humano, atividades industriais, irrigação, além de uso para limpeza, piscinas e sistemas de combate a incêndios. Desse total, verificou-se que existem 157 poços que têm o consumo humano como objetivo principal ou como parte de suas finalidades (Figura 40).

As finalidades relacionadas ao consumo humano, irrigação e processos industriais somam juntas 87% dos registros no SIOUT (totalizando 339), considerando tanto as finalidades exclusivas quanto as múltiplas funções dos poços.

Figura 40 – Mapa dos poços do município de Flores da Cunha – RS.



Fonte: ISAM (2023) com base em SICAR (2023).

Tabela 6 – Especificação dos poços SIAGAS e SIOUT.

		Uso da água			Vazão específica (m³/h)	
SIAGAS	Abastecimento doméstico	19	Irrigação	1	0 – 0,5	62
	Abastecimento industrial	9	Não instalado	3	0,51 – 1,0	13
	Abastecimento múltiplo	5	Fechado	3	1,01 – 2,5	17
	Abastecimento urbano	35	Colmatado	2	2,51 – 5,0	6
	Doméstico/ irrigação/ animal	1	Seco	2	5,01 – 7,5	-
	-	-	Sem informação	19	7,51 – 10,0	1
		Uso da água			Vazão específica (m³/dia)	
SIOUT	Abastecimento comunitário	8	Consumo humano, processo industrial	15	0 – 1,0	23
	Abastecimento comunitário, abastecimento público	1	Consumo humano, processo industrial, sistema de combate a incêndios	1	1,01 – 5,0	23
	Abastecimento comunitário, dessedentação animal	2	Dessedentação animal	19	5,01 – 10,0	33
	Abastecimento comunitário, fornecimento de água a terceiros	4	Dessedentação animal, irrigação	3	10,01 – 25,0	79
	Abastecimento público	38	Dessedentação animal, irrigação, processo industrial	1	25,01 – 50,0	83
	Abastecimento público, fornecimento de água a terceiros	1	Dessedentação animal, limpeza geral	3	50,01 – 75,0	36
	Atividades comerciais, consumo humano, lavagem coletiva de veículos, lavagem de veículos, sistema de combate a incêndios	1	Dessedentação animal, processo industrial	1	75,01 – 100,0	24
	Consumo agroindustrial	6	Fornecimento de água a terceiros	11	100,01 – 250,0	54

Consumo agroindustrial, consumo humano	1	Irrigação	117	250,01 – 500,0	30
Consumo agroindustrial, consumo humano, dessedentação animal	1	Irrigação, limpeza geral	3	500,01 – 1.000,01	2
Consumo industrial, consumo humano, dessedentação animal, processo industrial	1	Irrigação, processo industrial	4	> 1.000,01	3
Consumo agroindustrial, consumo humano, irrigação	2	Lavagem coletiva de veículos, lavagem de veículos	1		
Consumo agroindustrial, limpeza geral, processo industrial	1	Lavagem coletiva de veículos, processo industrial	1		
Consumo agroindustrial, processo industrial	1	Limpeza geral	5		
Consumo humano	17	Limpeza geral, processo industrial	10		
Consumo humano, dessedentação animal	8	Limpeza geral, processo industrial, sistema de combate a incêndios	1		
Consumo humano, dessedentação animal, irrigação	2	Limpeza geral, processo industrial, vasos sanitários e/ou mictórios	3		
Consumo humano, dessedentação, irrigação, manutenção e higienização dos animais, processo industrial	1	Monitoramento qualitativo	4		
Consumo humano, dessedentação animal, processo industrial	1	Paisagismo	1		
Consumo humano, irrigação	26	Paisagismo, preservação de ambientes aquáticos	1		
Consumo humano, irrigação, limpeza geral	1	Piscinas	1		
Consumo humano, irrigação, processo industrial	1	Processo industrial	37		
Consumo humano, limpeza geral	2	Processo industrial, sistema de combate a	2		

		incêndios, vasos sanitários e/ou mictórios			
Consumo humano, limpeza geral, paisagismo	1	Processo industrial, vasos sanitários e/ou mictórios	1		
Consumo humano, limpeza geral, piscinas, turismo/lazer/balneário/recreação	2	Sistema de combate a incêndios, vasos sanitários e/ou mictórios	1		
Consumo humano, limpeza geral, processo industrial	8	Turismo/lazer/balneário/recreação	1		
Consumo humano, limpeza geral, processo industrial, vasos sanitários e/ou mictórios	1	Vasos sanitários e/ou mictórios	1		
Consumo humano, paisagismo	1	Sem informação	1		

Fonte: ISAM (2023) com base em SIAGAS (2023) e SIOUT (2023).

5.2.9 Usos da água

No município de Flores da Cunha, evidenciam-se os usos consuntivos de água para consumo humano, criação animal, irrigação e agricultura. Já os usos não consuntivos, apontam-se a pesca e o lazer, viabilizados pelo turismo (Prefeitura Municipal de Flores da Cunha, 2024).

5.2.9.1 Abastecimento humano

No Plano de Saneamento Básico (2024) do município, são apresentadas as vazões de abastecimento humano, calculadas com base no número de habitantes das áreas rural e urbana, multiplicado pela demanda per capita. Para a população atendida pela CORSAN, que inclui a zona urbana e parte da zona rural, adotou-se um coeficiente de demanda per capita de 228,75 L/hab·dia, que considera o consumo medido e as perdas na rede (CORSAN, 2023). Já para a população rural atendida por Associações Comunitárias, utilizou-se o coeficiente de consumo per capita recomendado pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2019b), que é de 125 L/hab·dia. Em relação à vazão de retorno, foram considerados 80% para abastecimento urbano e 50% para abastecimento rural (ANA, 2019b). Os consumos estimados para abastecimento humano estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Estimativa de demanda para abastecimento humano.

Consumidores em 2022 (hab)		Consumo per capita (L/hab·dia)	Vazão de retirada (m³/dia)	Vazão de retorno (m³/dia)	Vazão consumida (m³/dia)
CORSAN	28.730	228,75	6.572,00	5.257,60	1.314,40
Associações Comunitárias	2.162	125,00	270,25	135,13	135,13
Total	30.892	-	6.842,25	5.392,73	1.449,53

Fonte: ISAM (2023) com base em IBGE (2022).

Como resultado da análise, o volume total de água destinado ao abastecimento humano é calculado em 6.842,25 m³ por dia, com a maior parte desse volume concentrada na área urbana. No entanto, a quantidade efetivamente consumida é de

1.449,53 m³ por dia, resultando em um efluente de 5.392,73 m³ por dia que retorna ao meio ambiente (Prefeitura Municipal de Flores da Cunha, 2024).

Sob a gestão da CORSAN, existem 30 poços, sendo 24 na zona urbana e 6 na zona rural, com uma vazão total de 9.763,00 m³ por dia. Além disso, há 16 poços comunitários registrados na área rural, com uma vazão de 860,55 m³ por dia. Assim, o sistema apresenta uma capacidade máxima de 10.623,55 m³ por dia (equivalente a 3.877.596 m³ por ano), valor que supera a estimativa de abastecimento humano em Flores da Cunha (Prefeitura Municipal de Flores da Cunha, 2024).

5.2.9.2 Outros usos para abastecimento

A classe de “outros usos” representa a água utilizada para diversos meios, como limpeza geral, vasos sanitários e/ou mictórios, fornecimento de água a terceiros, entre outros. Em consulta ao SIOUT encontram-se 17 registros para usos múltiplos com outorga, os quais totalizaram uma capacidade de vazão de 799,10 m³/dia de água. Todos esses registros estão relacionados ao uso de águas subterrâneas.

5.2.9.3 Consumo e disponibilidade de água no município

A Tabela 8 apresenta um resumo dos diferentes usos da água, juntamente com as quantidades estimadas para cada um deles. Esses dados são baseados nas informações de vazão dos poços do município apresentadas pelo Plano Municipal de Saneamento Básico (2024) além das informações provenientes do SIOUT.

Tabela 8 - Usos da água em Flores da Cunha - RS.

USOS	VAZÃO	PERCENTUAL
Capacidade de produção de água subterrânea através de poços sob gestão da CORSAN	9.763 m ³ /dia*	58%
Capacidade de produção de água subterrânea através de poços comunitários (SAC) na zona rural	860,55 m ³ /dia	5%
Capacidade de produção de água para dessedentação animal	225,34 m ³ /dia	1%
Capacidade de produção de água (superficial e subterrânea) para abastecimento industrial, irrigação e usos múltiplos	5.888,29 m ³ /dia	35%

USOS	VAZÃO	PERCENTUAL
Total disponível	16.737,18 m³/dia ou 6.109.070,7 m³/ano	100%
Demanda para abastecimento público	6.842,25 m ³ /dia	53%
Demanda para dessedentação animal	681,38 m ³ /dia	6%
Demanda de água para abastecimento industrial, irrigação e usos múltiplos	4.416,22 m ³ /dia**	41%
Total de demanda	11.939,85 m³/dia ou 4.358.045,25 m³/ano	100%

Fonte: ISAM (2023). *Considerando apenas os poços que possuem dados de vazão (outorga no SIOUT ou informações disponibilizadas pela CORSAN). **Considerando que 75% do produzido é efetivamente consumido (ANA, 2019).

Os dados apresentados no Quadro 10 revelam um superávit de 1.751.025,45 m³/ano na disponibilidade hídrica do município de Flores da Cunha, indicando uma reserva de água de 54% em relação à demanda total, considerando apenas os processos que foram quantificados. No entanto, a ausência de medições para todos os poços em operação pode comprometer a precisão dessas informações, uma vez que parte da reserva subterrânea não foi incluída.

5.2.10 Geomorfologia

O município de Flores da Cunha está localizado na região fisiográfica da Encosta Superior do Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, na Serra Gaúcha. Esta região compreende municípios como Caxias do Sul, Bento Gonçalves, Guaporé, Nova Prata, Farroupilha e Garibaldi, situando-se entre a Encosta Inferior do Nordeste e os Campos do Planalto. Geomorfologicamente, Flores da Cunha está integralmente inserida no Planalto das Araucárias, a parte mais oriental do Domínio Morfoestrutural das Bacias Sedimentares que abrange partes do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. O município limita-se ao nordeste com a Depressão do Sudeste Catarinense, a Leste com a Planície Costeira Interna, ao sul com a Depressão Central Gaúcha, e a oeste com o Planalto das Missões e o Planalto da Campanha (De Camargo, 2013; Prefeitura Municipal de Flores da Cunha, 2014).

Flores da Cunha está na área morfoclimática conhecida como Planalto Basáltico Superior. Na perspectiva regional, pertence ao domínio morfoestrutural denominado Unidade Geomorfológica Serra Geral, caracterizada pelas escarpas

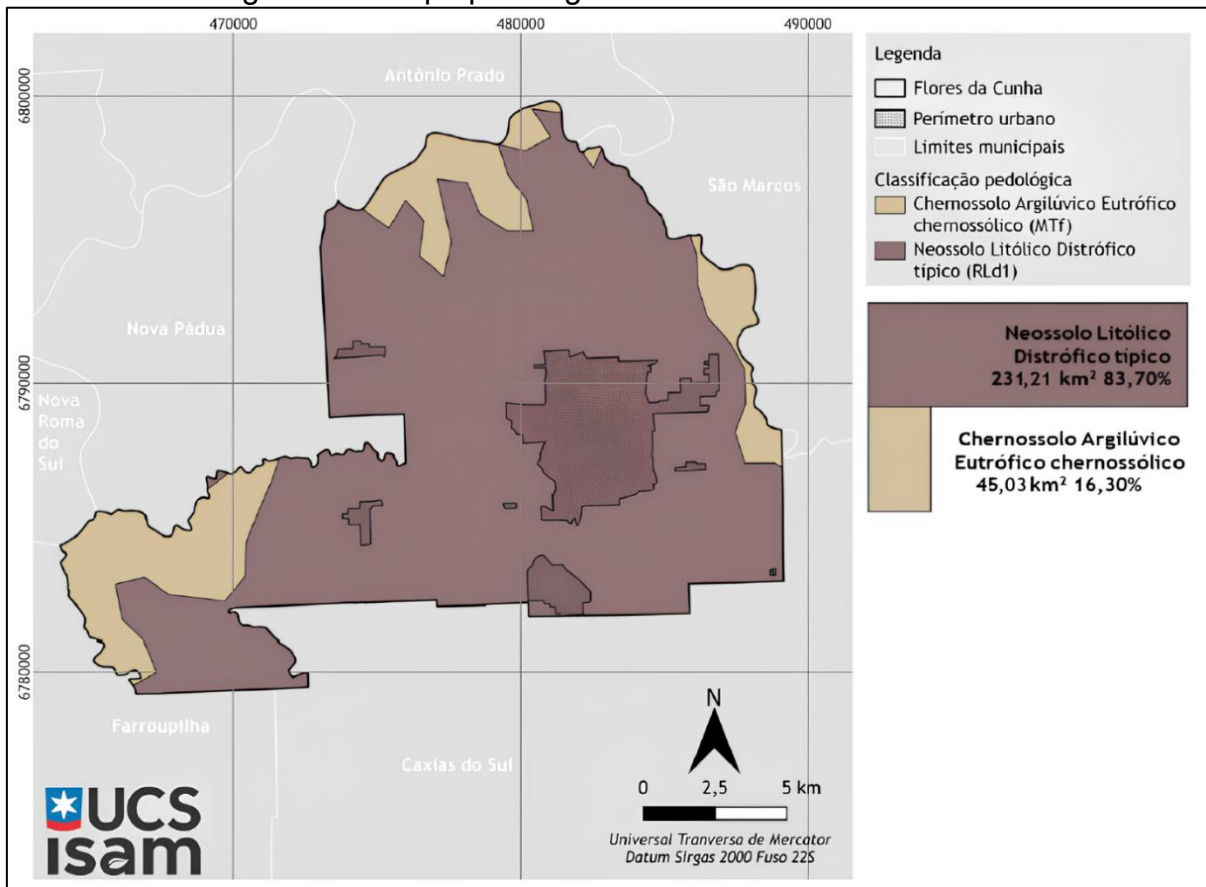
abruptas da Unidade do Planalto dos Campos Gerais, ambas integrantes da região Geomorfológica Planalto das Araucárias (De Camargo, 2013).

5.2.11 Pedologia

A formação dos solos no município e na região é fortemente influenciada pelo material de origem (rocha matriz), características do relevo e condições climáticas. De Camargo (2013) retrata que no município existem dois tipos de solos: Neossolo Litólico e Chernossolos Argilúvicos, sendo que o Solo Nitossolo Litólico predomina (Figura 41). Em 83,70% da área total do município, predominam os Neossolos Litólicos Distróficos Típicos. Apenas pequenas áreas no noroeste e sudeste do município são ocupadas por Chernossolos Argilúvicos Férricos Típicos, que correspondem a 16,30% da área total, ou seja, 45,03 km² (Prefeitura Municipal de Flores da Cunha, 2024).

Os Neossolos Litólicos são caracterizados por sua baixa profundidade, geralmente não ultrapassando 50 centímetros até a rocha, e estão frequentemente associados a relevo acentuado (Prefeitura Municipal de Flores da Cunha, 2024). Já os Chernossolos Argilúvicos costumam estar relacionados a rochas pouco ácidas e a regiões de relevo ondulado ou fortemente ondulado, o que também favorece a erosão. Além disso, esses solos funcionam como agentes de cimentação entre suas partículas (AGEITEC; EMBRAPA, 2021).

Figura 41 - Mapa pedológico de Flores da Cunha – RS.

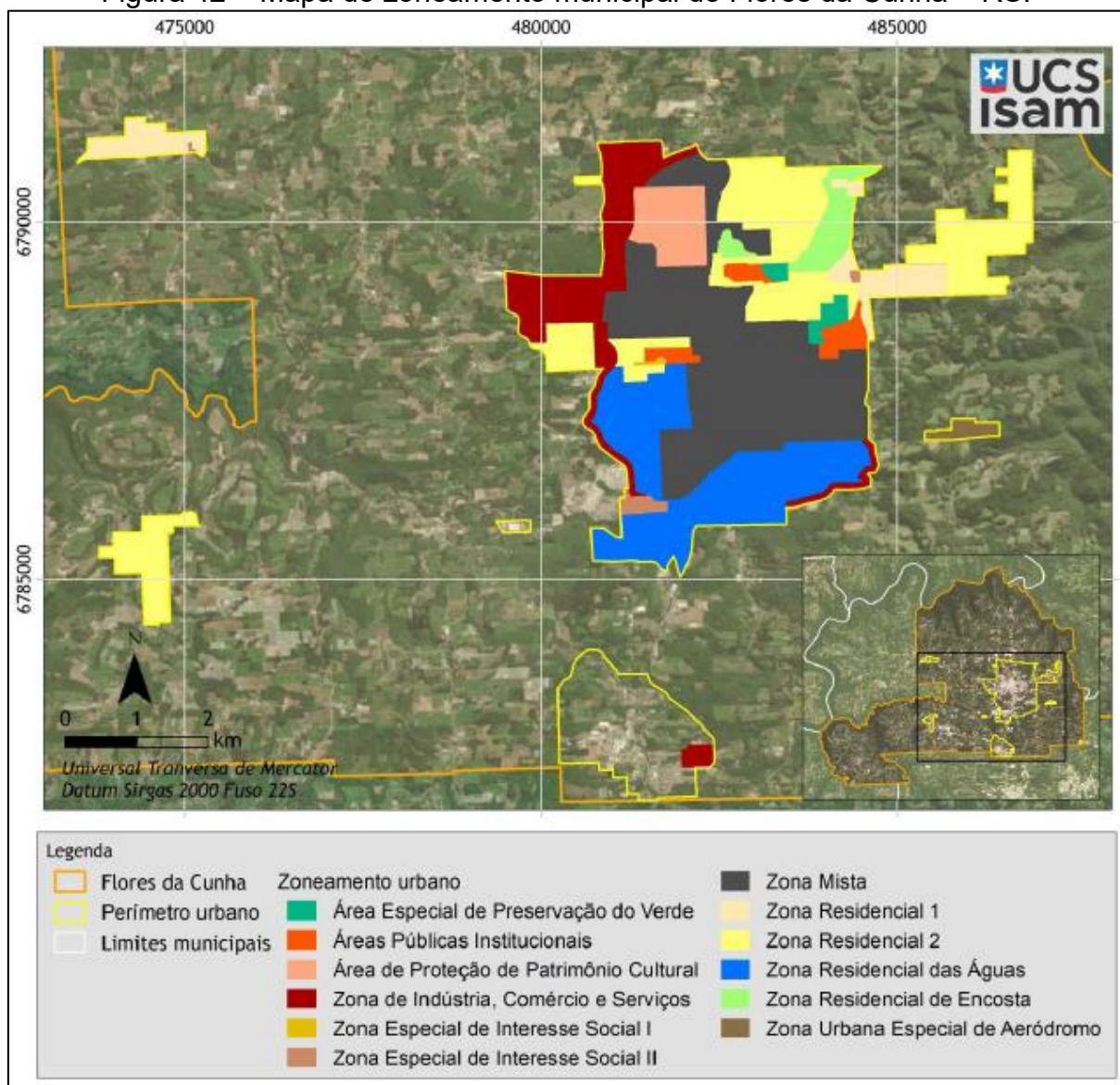


Fonte: ISAM (2023) com base em STRECK, et al. (2008).

5.2.12 Uso e ocupação do solo

O uso do solo em Flores da Cunha é regido pelo Plano Diretor, conforme estabelecido pela Lei Complementar n° 149, de 26 de setembro de 2019, e alterado pela Lei Complementar n° 172, de 29 de junho de 2022. Dentro da área urbana, o município é dividido em 12 zonas (Figura 42), que incluem: Zona Mista (ZM), Zona Residencial I (ZR I), Zona Residencial II (ZR II), Zona Residencial das Águas (ZRA), Zona Residencial de Encosta (ZRE), Zona Especial de Interesse Social I (ZEIS I), Zona Especial de Interesse Social II (ZEIS II), Zona de Indústria, Comércio e Serviços (ZICS) e Zona Urbana Especial de Aeródromo (ZUEA). Além disso, destaca-se a Área de Proteção do Patrimônio Cultural (APPC), as Áreas Públicas Institucionais (API) e a Área Especial de Preservação do Verde (AEPV).

Figura 42 – Mapa de zoneamento municipal de Flores da Cunha – RS.



Fonte: Adaptado de Prefeitura Municipal de Flores da Cunha (2020).

5.2.12.1 Áreas de preservação ambiental

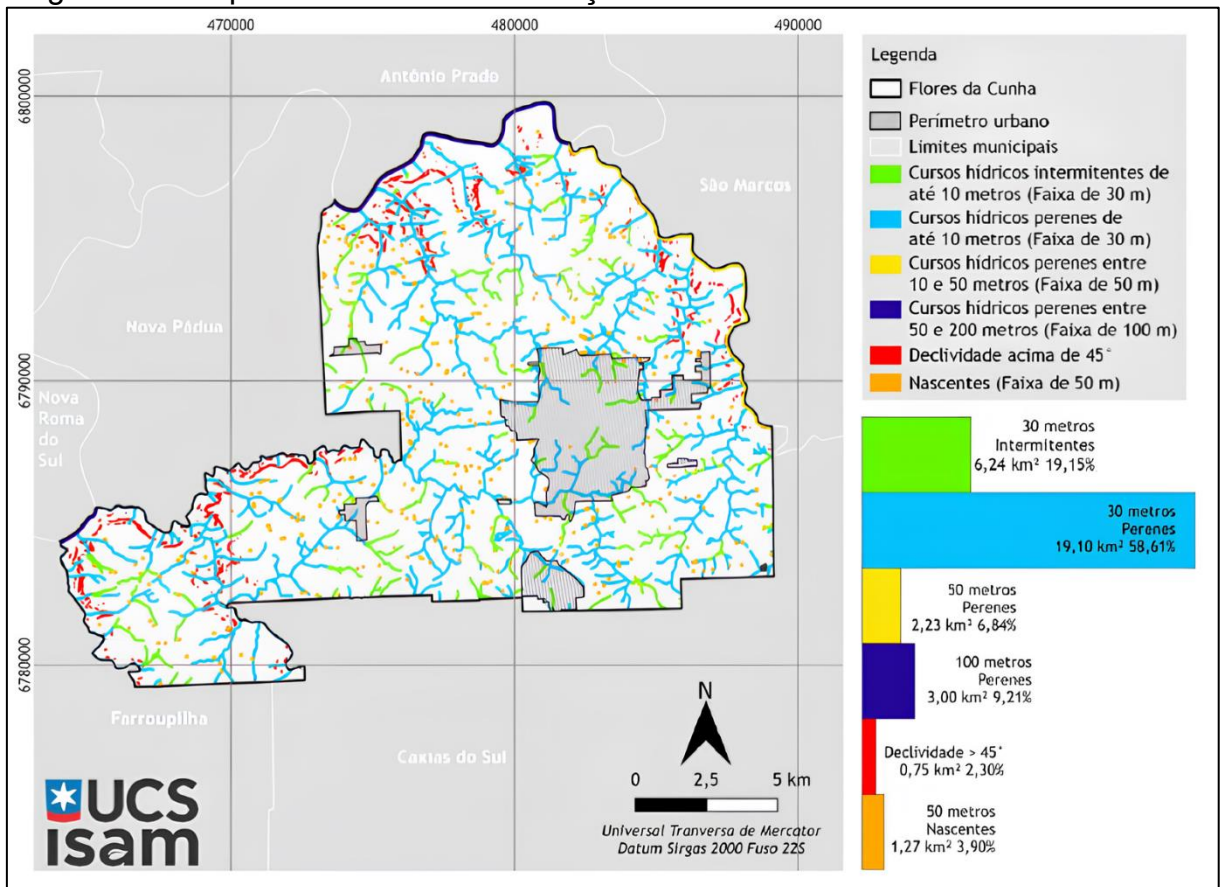
O mapa das Áreas de Preservação Permanente (APP) apresentado na Figura 43 é baseado na Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que estabelece a proteção da vegetação nativa (Brasil, 2012). Em conformidade com as diretrizes dessa legislação, foram definidas faixas de proteção ao longo das margens de corpos hídricos e em áreas sensíveis. No município, as faixas de APP para os cursos d'água variam: 30 metros para cursos com até 10 metros de largura, 50 metros para aqueles entre 10 e 50 metros, e 100 metros para os que possuem largura entre 50 e 200

metros. Ademais, áreas com declividade superior a 45° e nascentes possuem APPs de 50 metros (Prefeitura Municipal de Flores da Cunha, 2024).

As APPs representadas no mapa da Figura 43 foram elaboradas pelo ISAM com base na hidrografia da FEPAM (Rio Grande do Sul, 2018), na escala de 1:25.000. Nos cursos hídricos com até 10 metros de largura, 58,60% (19,09 km²) das APPs são de cursos perenes, correspondendo a 6,91% da área total do município, enquanto cursos intermitentes representam 19,14% das APPs (6,29 km²), cerca de 2,26% da área municipal. As APPs de 50 metros, localizadas no Arroio São Marcos, nas bordas leste e nordeste do município, somam apenas 0,75 km², ou 0,27% da área municipal. Já as APPs de 100 metros, ligadas ao Rio das Antas, nas partes norte e noroeste, totalizam 1,27 km², correspondendo a 0,46% da área total do município. Quanto às nascentes, elas representam 1,09% da área municipal, enquanto as APPs em áreas com declividade superior a 45° abrangem 0,81% da área total (Prefeitura Municipal de Flores da Cunha, 2024).

No perímetro urbano, estima-se que existam 2 km² de APP. No entanto, com a promulgação da Lei Federal nº 14.285, de 29 de dezembro de 2021 (Brasil, 2021), que possibilita ao município estabelecer faixas marginais de APP em áreas urbanas consolidadas, há potencial para definir faixas distintas das estipuladas pela Lei Federal nº 12.651/2012.

Figura 43 - Mapa de Áreas de Preservação Permanente de Flores da Cunha – RS.



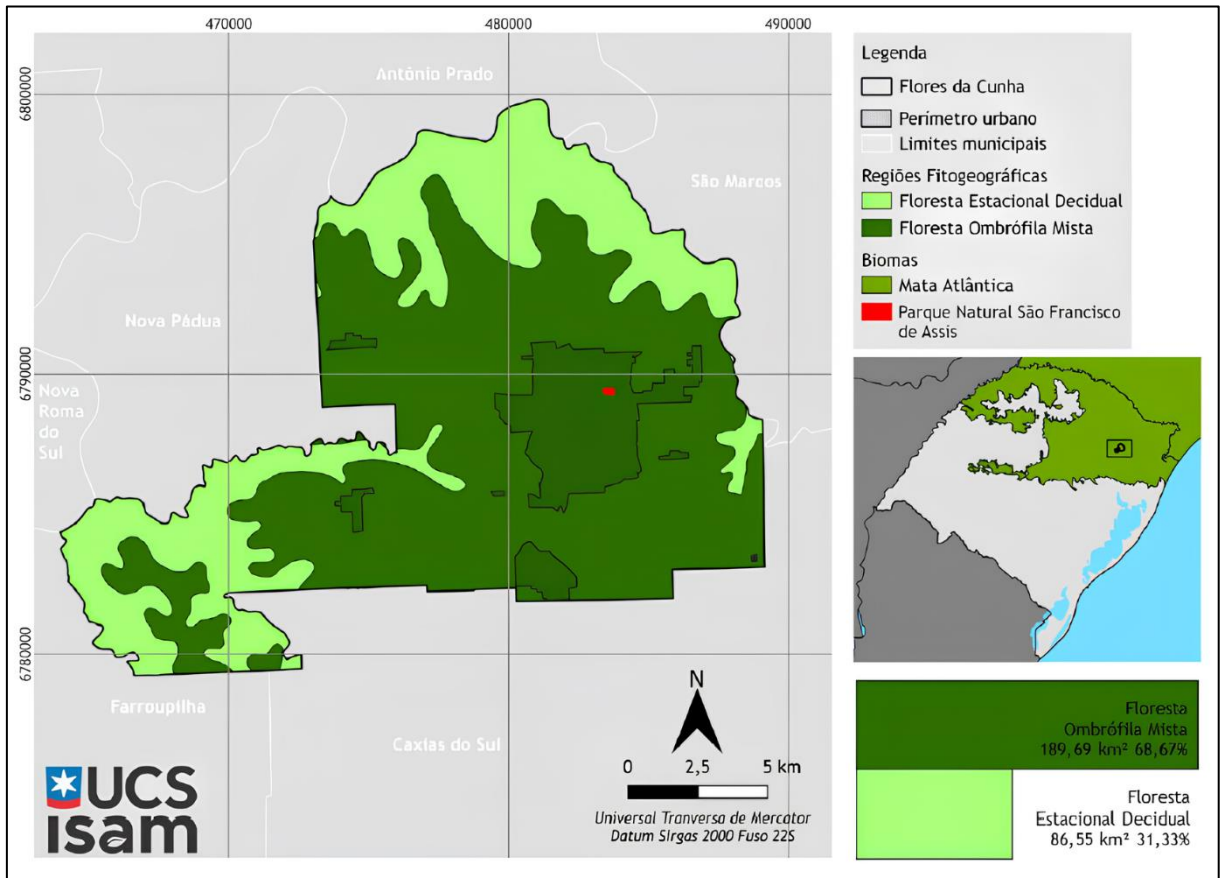
Fonte: ISAM (2023) adaptado de BRASIL (2012), HASENACK e WEBBER (2010).

5.2.13 Vegetação

Flores da Cunha está localizado nos domínios do bioma Mata Atlântica, um dos mais biodiversos do mundo, aplicando-se o regramento disposto na Lei Federal nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006 (Brasil, 2006).

O município de Flores da Cunha apresenta significativa porção de seu território coberta por formações florestais fitogeográficas (Figura 44), totalizando 68,67% de Floresta Ombrófila Mista (189,69 km²), enquanto a Floresta Estacional Decidual corresponde a 31,33% (86,55 km²) (Prefeitura Municipal de Flores da Cunha, 2024). Este cenário está diretamente associado ao relevo regional, caracterizado por declividades acentuadas que limitam a expansão das áreas cultivadas (De Camargo, 2013).

Figura 44 – Mapa da classificação fitogeográfica do município de Flores da Cunha – RS.



Fonte: ISAM (2023) adaptado de Prefeitura Municipal de Flores da Cunha (1995), Projeto RADAMBRASIL (1986).

A formação da Floresta Ombrófila Mista é caracterizada pela associação de coníferas e folhosas, tendo a *Araucaria angustifolia* (pinheiro-brasileiro) como elemento predominante. Essa floresta se desenvolve em altitudes superiores a 500 metros, principalmente sobre rochas basaltas e efusivas ácidas (Pillar; Lange, 2015). À medida que a altitude diminui, a araucária se associa a espécies das famílias Lauraceae e Myrtaceae, além de Meliaceae e Bigniaceae. A elevada umidade da região favorece a presença de epífitas, pteridófitas e espécies ameaçadas, como *Dicksonia sellowiana* e o pinheiro-brasileiro, conforme a Instrução Normativa MMA nº 6 (Teixeira et al., 1986).

A Floresta Estacional Decidual é composta por um estrato superior de macro e mesofanerófitos caducifólios, com mais de 50% das árvores desfolhadas no período seco (IBGE, 2012). Sua estrutura inclui cinco estratos: um emergente com grápia (*Apuleia leiocarpa*) e angico-vermelho (*Parapiptadenia rigida*); um segundo com canela-fedida (*Nectandra megapotamica*); um terceiro com cincho (*Sorocea*

bonplandii) e laranjeira-do-mato (*Gymnanthes concolor*); um estrato arbustivo com jovens das espécies superiores e plantas dos gêneros Piper e Psychotria; e um estrato herbáceo dominado por pteridófitas e gramíneas como Pharus e Olyra (Leite; Klein, 1990).

Flores da Cunha também se destaca como um dos principais produtores de uvas no Brasil, com áreas agrícolas ocupando 42,5% do território municipal, predominantemente destinadas ao cultivo de vinhas. Outras culturas agrícolas ocupam menos de 10% da área total, abrangendo cultivos como morango, alho, pêssego, ameixa e hortaliças. A utilização de terras para o cultivo de espécies exóticas, principalmente Pinus (*Pinus elliottii*), Eucalipto e Acácia-negra (*Acácia mearnsii*), ocupa 2,8% do território municipal (De Camargo, 2013).

No município de Flores da Cunha, foi estabelecido pela Lei Ordinária nº 2.765, de 7 de dezembro de 2009, o Parque Natural São Francisco de Assis, classificado como Área de Preservação Verde. Com uma área de 88.627,97 m² (Prefeitura Municipal de Flores da Cunha, 2014).

5.2.14 População

Conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023), a última contagem populacional registrou 30.892 habitantes no município, com predominância de 76% de população urbana (IBGE, 2010). Houveram também mudanças na estrutura demográfica, com destaque para o aumento da população idosa entre 2000 e 2010, com crescimento médio anual de 4,6%. A densidade demográfica do município, considerando toda sua população é de 111,83 hab./km² (IBGE, 2022).

As taxas de crescimento anual mencionadas indicam um aumento na população municipal, especialmente acelerado na zona urbana. Em contrapartida, a zona rural está experimentando um declínio populacional.

5.3 PROJEÇÃO POPULACIONAL E PROJEÇÃO DA CAPTAÇÃO DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO

As projeções realizadas, tanto para a população quanto para a captação de água destinada ao abastecimento público, foram elaboradas em um horizonte

temporal de 80 anos (2022 a 2102), visando atender aos requisitos normativos que estipulam uma vida útil mínima de 50 anos para o empreendimento (ICOLD, 2008). Assim, optou-se por um planejamento que contempla uma vida útil superior, considerando a eventualidade de atrasos na implementação da operação efetiva, o que poderá favorecer a viabilidade do empreendimento.

5.3.1 Projeção populacional de Flores da Cunha - RS

A metodologia empregada para a análise foi a projeção geométrica, a qual foi selecionada por sua maior adequação à realidade demográfica do município. A escolha pela projeção geométrica fundamenta-se em sua capacidade de capturar a dinâmica de crescimento populacional, frequentemente caracterizada por um padrão exponencial (Sperling, 2014). A elaboração das projeções foi realizada utilizando-se o software Excel. Os resultados da projeção da população total do município para o período de 1991 a 2102 estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Projeção populacional para o município de Flores da Cunha - RS (2023 – 2102).

MÉTODO DE DADOS	ANO	POPULAÇÃO (habitantes)
Dados consolidados pelo IBGE	1991	19.869
	2000	23.678
	2010	27.126
	2022	30.892
Projeção populacional	2032	35.618
	2040	39.915
	2050	46.022
	2060	53.064
	2070	61.182
	2080	70.543
	2090	81.336
	2102	96.489

Fonte: Elaborado pela autora com base em IBGE (2022).

5.3.2 Projeção de demanda de água para abastecimento humano

A projeção da demanda de água para abastecimento humano foi delineada a partir de uma projeção geométrica do consumo per capita no município utilizando os dados históricos de abastecimento de água entre 2012 e 2022, do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Considerando que o tempo de retorno de uma obra de barramento é estimado em um intervalo que varia entre aproximadamente 25 anos e mais de um século (Prefeitura Municipal de São Paulo, 1999), e com o objetivo de determinar o volume total de água necessário para suprir a demanda populacional ao longo de um horizonte temporal de 80 anos (2023 a 2103), o consumo per capita projetado foi multiplicado pela estimativa populacional correspondente ao mesmo período.

Adicionalmente, para calcular a demanda total de água, foram considerados os percentuais de perdas na distribuição, os quais foram ajustados para adequar-se à Portaria do Governo Federal nº 490, de 22 de março de 2021, a qual estabeleceu o cumprimento do índice de perda de água na distribuição, devendo alcançar a média de 25% até o ano de 2033 (Brasil, 2021). Todavia, considerando que as taxas históricas registradas pelo município apresentaram uma média de 36% (SNIS, 2024), adotou-se uma margem adicional de 10% em relação à taxa mínima estipulada pela Portaria, com o objetivo de mitigar eventuais subestimativas decorrentes da micromedição do consumo real.

A Tabela 10 apresenta a projeção do consumo de água para o município de Flores da Cunha no período compreendido entre os anos de 2023 e 2103.

Tabela 10 - Estimativa do consumo de água para o município de Flores da Cunha – RS (2023 – 2103).

PROJEÇÃO POPULACIONAL	ANO	CONSUMO				Perda de água na distribuição	DEMANDA			
		Consumo per capita	Total	CORSAN (93%)	Associações (7%)		Per capita	Total	CORSAN (93%)	Associações (7%)
		L/hab./dia	m³/ano	m³/ano	m³/ano		%	L/hab./dia	m³/ano	m³/ano
31.335	2023	127,21	1.454.989,31	1.353.140,06	101.849,25	36,90	218,35	2.497.421,25	2.144.437,49	161.409,27
36.129	2033	142,44	1.878.337,79	1.746.854,15	131.483,65	33,75	215,00	2.835.226,86	2.636.760,98	198.465,88
41.657	2043	166,23	2.527.453,60	2.350.531,85	176.921,75	27,50	229,28	3.486.142,90	3.242.112,90	244.030,00
48.030	2053	177,27	3.107.710,55	2.890.170,82	217.539,74	27,50	244,51	4.286.497,32	3.986.442,50	300.054,81
55.379	2063	189,04	3.821.183,85	3.553.700,98	267.482,87	27,50	260,75	5.270.598,42	4.901.656,53	368.941,89
63.852	2073	201,60	4.698.457,52	4.369.565,49	328.892,03	27,50	278,07	6.480.631,06	6.026.986,89	453.644,17
73.621	2083	214,99	5.777.137,12	5.372.737,52	404.399,60	27,50	296,54	7.968.464,99	7.410.672,44	557.792,55
84.885	2093	229,27	7.103.461,75	6.606.219,43	497.242,32	27,50	316,23	9.797.878,28	9.112.026,80	685.851,48
97.873	2103	244,50	8.734.286,18	8.122.886,14	611.400,03	27,50	337,24	12.047.291,28	11.203.980,89	843.310,39

Fonte: Elaborado pela autora com base em ISAM (2023).

A projeção realizada (Tabela 10) indica uma tendência crescente no consumo total de água, com estimativas que apontam um aumento médio de 7.279.297,00 m³/ano em 2103, representando um incremento aproximado de 600%.

De acordo com o relatório da ISAM (2023), considerando o incremento no consumo de água na zona urbana, cuja operação do sistema de abastecimento é de responsabilidade da Companhia Rio Grandense de Saneamento (CORSAN), foi determinada a proporção da demanda para a qual a Companhia deverá planejar investimentos. As projeções indicam que aproximadamente 93% do volume total consumido será suprido pela CORSAN, correspondendo a 8.122.886,14 m³/ano em 2103, e os 7% remanescentes referem-se à demanda da zona rural, cuja gestão é realizada por associações locais.

A demanda total de água para consumo humano, que incorpora as perdas na rede de distribuição ao consumo total, também revela uma tendência de crescimento, passando de 2.497.421,25 m³/ano em 2023 para 12.047.291,28 m³/ano em 2103, o que corresponde a um incremento de 482%. Esses resultados consideram a estimativa de perdas na distribuição, que se projeta reduzir de 36,9% em 2023 para 27,5% em 2103. Este percentual baseia-se na Portaria do Governo Federal nº 490/2021 (Brasil, 2021), visando atender às metas do PLANSAB em 2033, além dos acordos contratuais entre o município e a CORSAN.

Portanto, é imperativo que o município monitore a capacidade de fornecimento de água, tanto dos reservatórios quanto dos poços utilizados para abastecimento público, especialmente na área urbana, onde se prevê o maior crescimento do consumo. Ademais, é essencial medir, monitorar e reduzir as perdas de água na rede de distribuição, planejando investimentos em novas alternativas de abastecimento e na manutenção do sistema (ISAM, 2023).

5.3.3 Identificação de alternativas de fontes hídricas para a captação de água

De acordo com ISAM (2023), a identificação de alternativas para a captação de água destinada ao abastecimento humano requer a realização de estudos técnicos voltados à análise quantitativa e qualitativa dos mananciais subterrâneos atualmente empregados no sistema de abastecimento municipal. O diagnóstico do Plano Municipal de Saneamento Básico (ISAM, 2023) aponta que a vazão de alguns poços excede a capacidade de exploração, evidenciando a necessidade de novas estruturas

de captação e maior capacidade de reservação, especialmente na zona urbana. Diante do aumento projetado da demanda, torna-se fundamental a implementação de alternativas de fontes hídricas de abastecimento até 2044, contemplando a necessidade de ampliar o volume de reservação, principalmente na zona urbana.

A diversificação das fontes hídricas para captação de água constitui uma medida estratégica para assegurar a segurança hídrica e a sustentabilidade do abastecimento público, pautados na redução da vulnerabilidade ao desabastecimento que afetam a disponibilidade dos recursos hídricos (Dickson, Schuster-Wallace e Newton, 2016). Dentre as alternativas viáveis considerando-se as características municipais, a construção de barragens é a alternativa selecionada pelo presente trabalho, uma vez que possibilita a armazenagem de grandes volumes de água, promovendo estabilidade no abastecimento, especialmente em períodos de estiagem (Costa, 2016). Além disso, essa solução contribui para mitigar a pressão sobre os mananciais subterrâneos, cuja exploração excessiva já apresenta limitações (Farias e Lemos, 2006). A ampliação da capacidade de reservação torna-se essencial para suprir a demanda futura, particularmente na zona urbana, que concentra a maior parcela do consumo.

5.4 RESULTADOS DOS CRITÉRIOS LIMITANTES DE SELEÇÃO LOCACIONAL

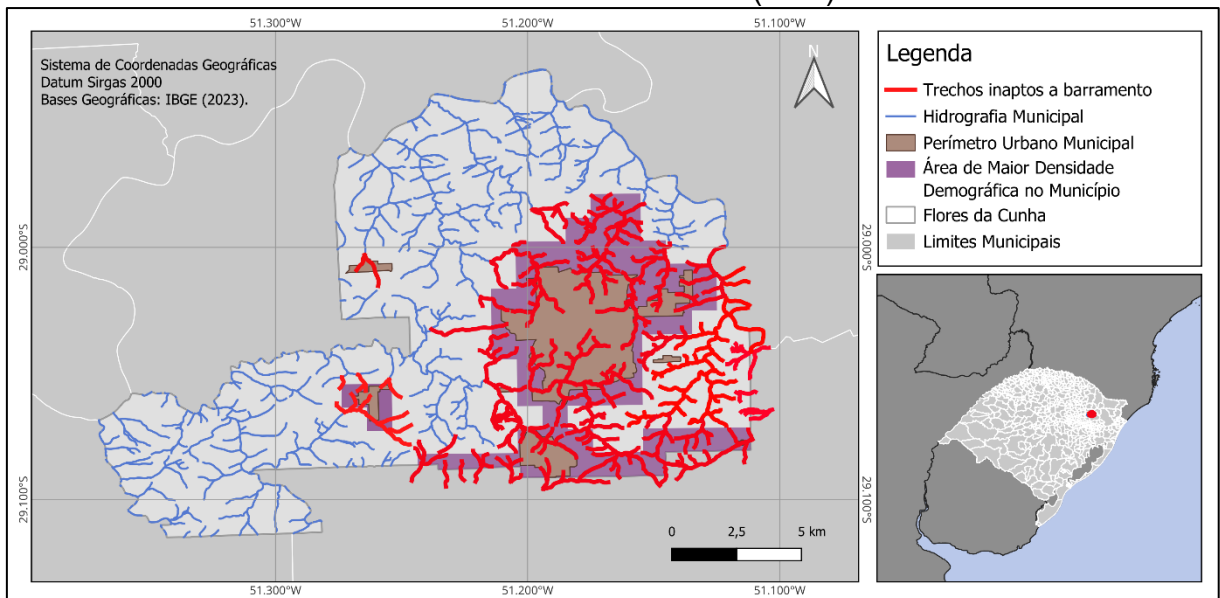
Este subcapítulo apresenta os resultados obtidos a partir da aplicação dos critérios limitantes à seleção locacional de barramentos, conforme definido na metodologia. São considerados aspectos físicos, ambientais, hidrogeológicos, climáticos, econômicos e legais, cuja análise permitiu identificar restrições e excluir áreas com baixa aptidão para a implantação de reservatórios. Os resultados encontram-se organizados conforme os temas avaliados.

5.4.1 Segurança de Barragens

A delimitação da Zona de Auto Salvamento (ZAS) foi realizada com base na distância linear de 10 km a jusante do ponto de barramento, conforme preconiza a Resolução ANA nº 236/2017 (Brasil, 2017). Para este estudo, foram considerados inaptos os trechos de hidrografia localizados a montante ou inseridos em áreas urbanas e regiões densamente povoadas do município, devido ao risco potencial

associado ao rompimento da estrutura. Assim, os segmentos fluviais que atravessam essas zonas foram considerados inaptos para a seleção locacional de barramentos. Por outro lado, os trechos localizados a jusante, fora dos núcleos urbanos, foram classificados como aptos sob o critério de segurança de barragens. A espacialização desses resultados foi realizada por meio de geoprocessamento, utilizando-se o software QGis, resultando em um mapa temático que orienta a exclusão de áreas conforme as restrições legais e de segurança, como observado na Figura 45.

Figura 45 – Mapa dos trechos fluviais considerados inaptos à implantação de barramentos com base no critério limitante de segurança, conforme diretrizes da Zona de Auto Salvamento (ZAS).



Fonte: Elaborado pela autora com base em ISAM (2023).

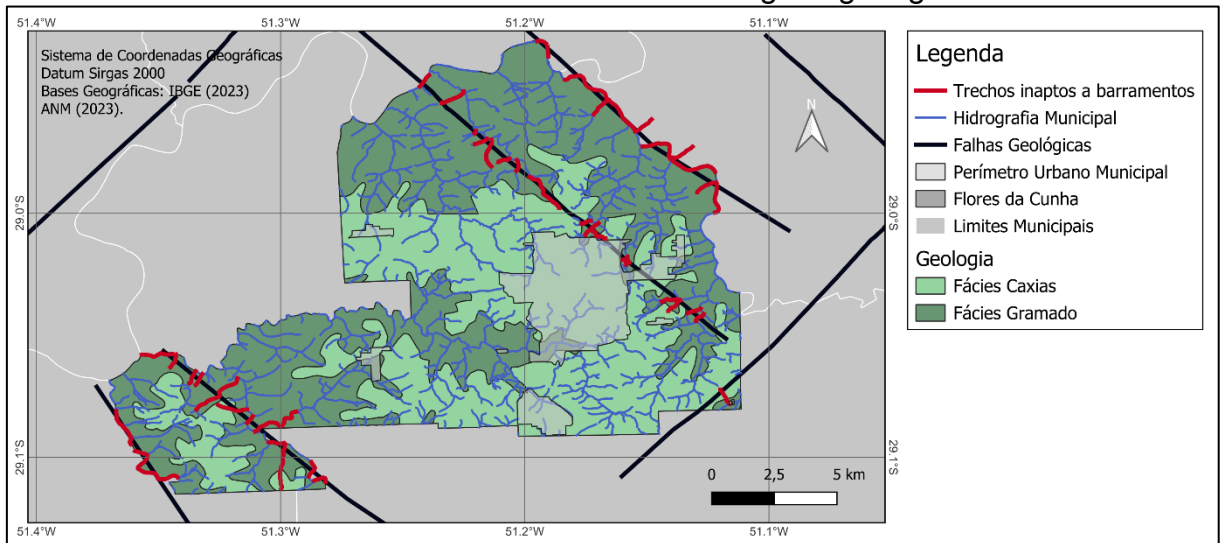
Dessa forma, os trechos fluviais destacados em vermelho no mapa (Figura 45) foram classificados como inaptos à implantação de barramentos, conforme a metodologia adotada neste estudo. Considerando que este critério foi avaliado como de impacto extremo na matriz, sua limitação é definitiva, não sendo passível de remediação ou mitigação.

5.4.2 Condições Geológico-Geotécnicas

Com base na análise geológica conduzida, verificou-se que as principais unidades litológicas do município correspondem às fácies Caxias e Gramado, pertencentes à Formação Serra Geral (ISAM, 2023). A Fácies Caxias, composta

predominantemente por rochas vulcânicas ácidas como riolitos e dacitos, apresenta maior área de exposição, enquanto a Fácies Gramado, constituída por rochas máficas como basaltos e andesitos, ocorre em menor proporção (CPRM, 2016). Considerando a natureza litológica exclusivamente rochosa das formações identificadas, foram desconsideradas, por critério metodológico, as alternativas de barragens fundadas em solos inconsolidados. Ressalta-se que, sob a ótica metodológica deste estudo, o critério geológico não configura fator de limitação locacional, mas atua como condicionante para a seleção da tipologia estrutural da barragem — decisão que requer avaliação técnico-especializada em geotecnia, engenharia civil e hidráulica. Adicionalmente, áreas com ocorrência de estruturas geológicas frágeis, como falhas e zonas de fraturamento intensivo, foram classificadas como inaptas à implantação de barramentos, conforme critérios geológicos definidos na metodologia deste trabalho. A Figura 46 ilustra a espacialização dos resultados obtidos.

Figura 46 - Mapa dos trechos fluviais considerados inaptos à implantação de barramentos com base no critério limitante geológico-geotécnico.



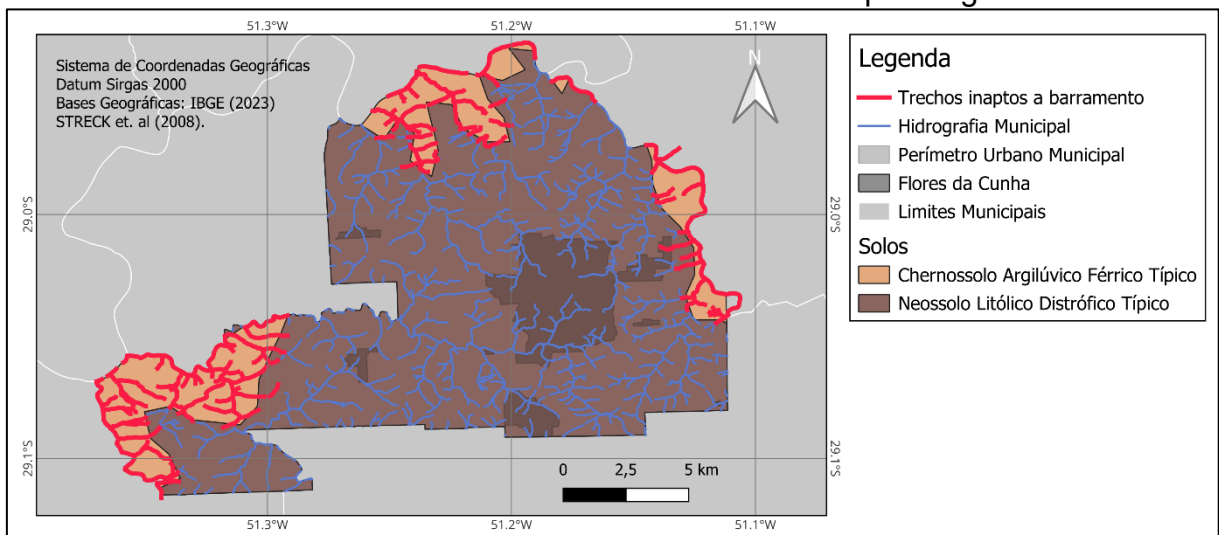
Fonte: Elaborado pela autora com base em ANM (2023).

Os trechos fluviais destacados em vermelho no mapa (Figura 46) foram classificados como inaptos à implantação de barramentos. Por se tratar de um critério avaliado como de impacto extremo na matriz, sua limitação é definitiva e não passível de remediação ou mitigação.

5.4.3 Pedologia

Com relação a análise pedológica realizada no município de Flores da Cunha, identificou-se a presença predominante de Neossolos Litólicos e, em menor proporção, de Chernossolos (Figura 47). Do ponto de vista geotécnico e conforme os critérios metodológicos adotados, os Neossolos Litólicos, embora pouco desenvolvidos e rasos, foram considerados mais aptos para a implantação de barramentos do que os Chernossolos. Isso se deve à sua menor espessura, que possibilita o acesso mais direto à rocha sã subjacente, favorecendo fundações ancoradas diretamente no substrato rochoso. Essa característica reduz a necessidade de escavações profundas, os custos associados e as incertezas geotécnicas de perfis mais espessos e heterogêneos. Por outro lado, os Chernossolos, por apresentarem maior profundidade e potencial de variação estrutural, impõem maiores desafios à caracterização e ao desempenho geotécnico das fundações. Dessa forma, no contexto deste estudo, as áreas com predominância de Neossolos Litólicos foram consideradas mais favoráveis à implantação de barramentos, conforme será demonstrado no mapa apresentado na Figura 47.

Figura 47 - Mapa dos trechos fluviais considerados inaptos à implantação de barramentos com base no critério limitante de pedologia.



Fonte: Elaborado pela autora com base em STRECK *et al.* (2008).

Dessa forma, os trechos fluviais destacados em vermelho no mapa (Figura 47) foram classificados como inaptos à implantação de barramentos, conforme a metodologia adotada neste estudo. Considerando que este critério foi avaliado como

de impacto alto na matriz, sua limitação é definitiva, não sendo passível de remediação ou mitigação.

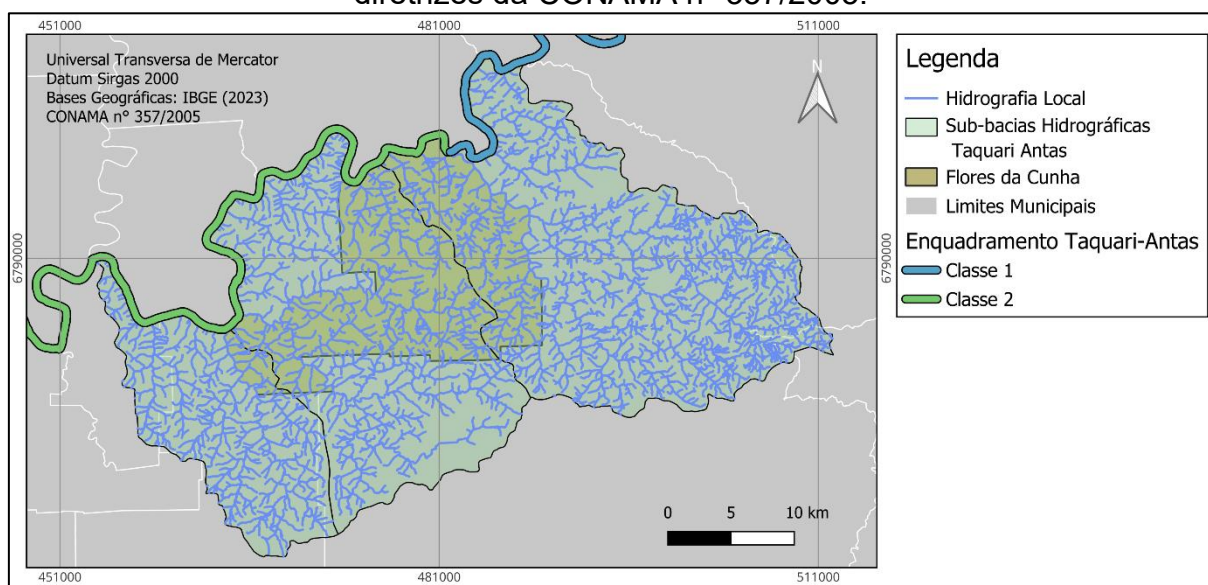
5.4.4 Qualidade de Água

A qualidade da água constitui um dos critérios avaliados na seleção locacional de barramentos destinados ao abastecimento público, dado seu impacto direto sobre a saúde da população e a viabilidade técnica do tratamento para potabilização. Conforme estabelecido na proposta metodológica deste estudo, adotou-se como condição mínima de aptidão o enquadramento da massa d'água em Classe 3, de acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005, uma vez que essa classificação permite o uso da água para consumo humano, desde que submetida a tratamento convencional ou avançado (Brasil, 2005).

A análise espacial conduzida em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG) contemplou o enquadramento da qualidade das águas superficiais das sub-bacias do município de Flores da Cunha, com base nos dados disponíveis junto aos órgãos ambientais e de recursos hídricos (SEMA, 2022).

Os resultados (Figura 48) indicam que todas as sub-bacias analisadas estão enquadradas como Classe 2, conforme os critérios da Resolução CONAMA nº 357/2005. Adicionalmente, o trecho a montante do rio principal apresenta enquadramento classificado como Classe 1 — o que evidencia uma qualidade de água superior, com exigências mais rigorosas para manutenção de condições naturais e proteção da vida aquática. Tal resultado reforça a aptidão das áreas analisadas para a implantação de barramentos voltados ao abastecimento público, uma vez que toda a rede hidrográfica avaliada apresenta enquadramento igual ou superior ao limite mínimo estabelecido para esse tipo de uso.

Figura 48 – Mapa dos trechos fluviais considerados aptos à implantação de barramentos com base no critério limitante de qualidade de água, conforme diretrizes da CONAMA n° 357/2005.



Fonte: Elaborado pela autora com base em SEMA (2022).

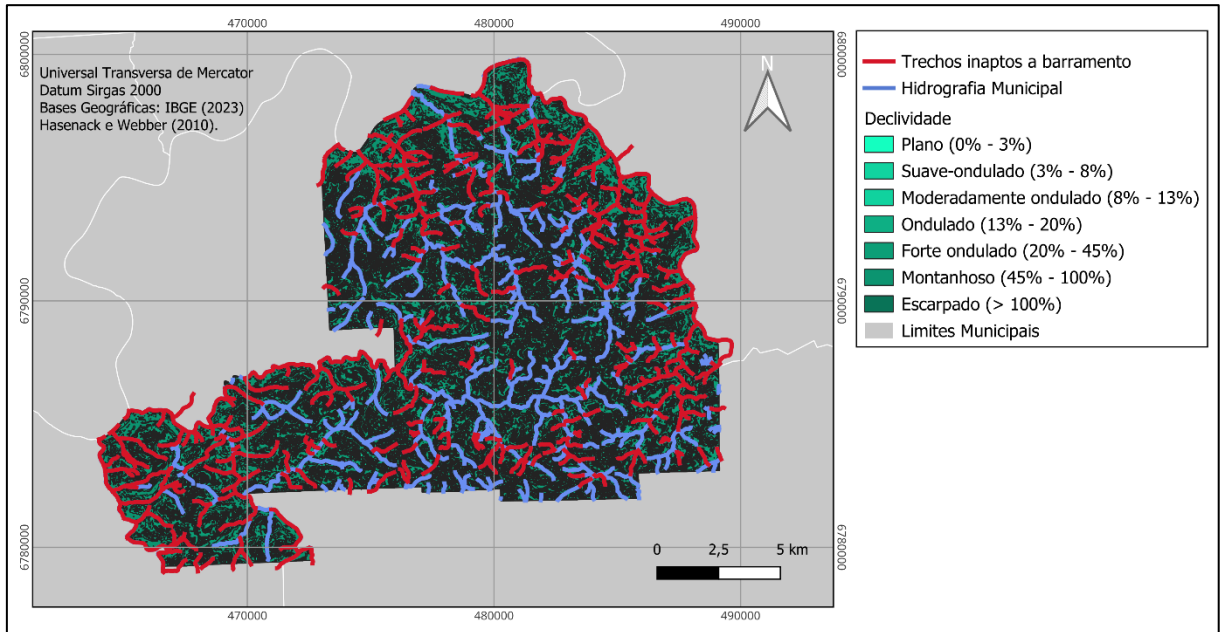
De acordo com a análise espacial realizada e representada no mapa temático (Figura 48), todas as sub-bacias avaliadas apresentaram enquadramento igual ou inferior à Classe 2, atendendo aos critérios de qualidade da água exigidos para abastecimento público. Dessa forma, conclui-se que, sob a ótica da qualidade da água, todas as sub-bacias estão aptas à implantação de barramentos em quaisquer trechos.

5.4.5 Áreas de Preservação Permanente, Uso do Solo e Vegetação

No presente estudo, foi adotada como condicionante locacional a minimização de interferências em Áreas de Preservação Permanente (APPs), com ênfase nas áreas situadas em encostas e topos de morros, devido à sua elevada fragilidade ambiental e às restrições legais impostas à sua supressão ou intervenção. A análise espacial desenvolvida para o município de Flores da Cunha considerou a declividade do relevo como critério geotécnico e legal, com base nos limites estabelecidos pela Lei Federal n° 6.766/79, que veda o parcelamento do solo em terrenos com inclinação superior a 30%, e pela Lei n° 12.651/12, que classifica áreas com declividade superior a 45° como APPs. A partir da modelagem digital do terreno (MDT) e sua posterior classificação, os dados foram processados em ambiente de Sistema de Informação

Geográfica (SIG), permitindo a delimitação das faixas de declividade e a categorização espacial das áreas como aptas ou inaptas à implantação de barramentos, conforme apresentado no mapa representado pela Figura 49.

Figura 49 - Mapa dos trechos fluviais considerados inaptos à implantação de barramentos com base no critério limitante de declividade e uso do solo, conforme diretrizes da Lei Federal nº 6.766/1979 e Lei Federal nº 12.651/2012.



Fonte: Elaborado pela autora com base em Hasenack e Webber (2010).

Com base na análise espacial da declividade, foram identificadas como inaptas à implantação de barramentos as áreas com inclinação superior a 30° , representadas no mapa por simbologia correspondente às faixas de maior restrição. Essas regiões, por se enquadrarem também como Áreas de Preservação Permanente (APPs) e apresentarem alta fragilidade ambiental e riscos associados à instabilidade de encostas, foram excluídas da seleção locacional. Considerando que este critério foi classificado como de impacto alto na matriz de priorização, sua restrição é definitiva, não sendo passível de mitigação ou remanejamento técnico.

No que se refere à cobertura vegetal, não foram identificadas unidades de conservação, corredores ecológicos ou remanescentes de vegetação nativa devidamente quantificados por estudos consolidados no município. A única área oficialmente reconhecida é o Parque Natural de São Francisco de Assis, classificado como Área de Preservação Permanente (APP), localizado em zona urbana, já considerada como restritiva pela condicionante de segurança de barragens. Dessa forma, recomenda-se que a análise de interferência sobre a vegetação nativa seja

aprofundada em etapa posterior à definição locacional do barramento, a fim de avaliar a eventual necessidade de ajustes em função deste parâmetro ambiental.

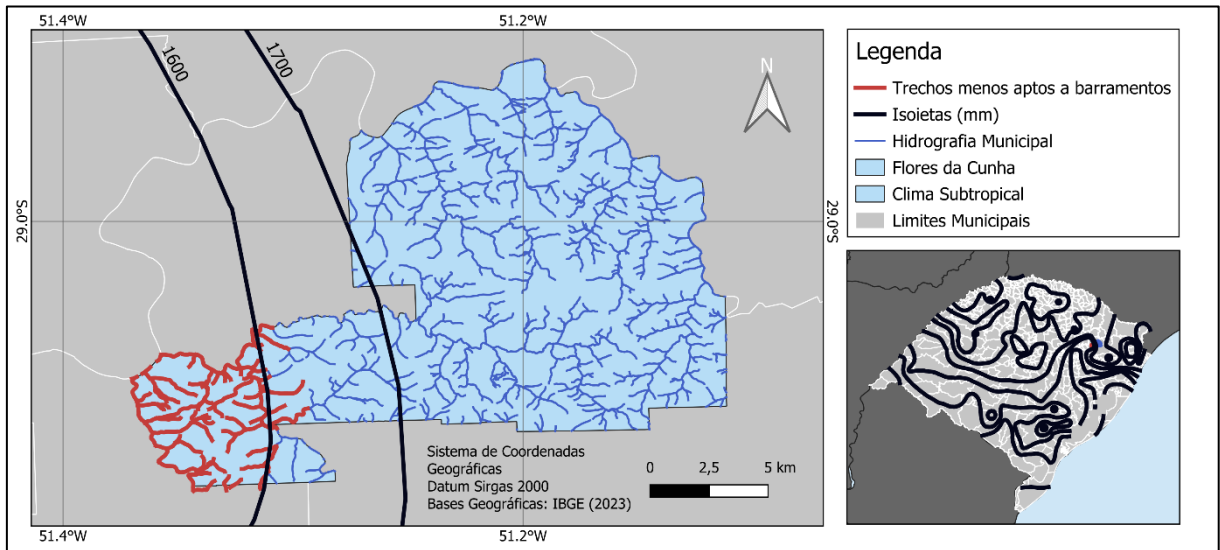
5.4.6 Hidrogeologia

Com base na análise dos dados secundários disponíveis, identificou-se que a área de estudo está inserida no Sistema Aquífero Serra Geral II, caracterizado por sua natureza fissural e suscetível à ocorrência de fraturas interconectadas que podem comprometer a estanqueidade de reservatórios. Embora essa condição geológica represente um potencial fator limitante à implantação de barramentos, a avaliação realizada neste estudo possui caráter preliminar, uma vez que se fundamenta exclusivamente em informações bibliográficas e cartográficas. Dessa forma, ressalta-se que a confirmação da aptidão hidrogeológica das áreas selecionadas dependerá, obrigatoriamente, da realização de campanhas de campo específicas, com sondagens, ensaios de permeabilidade e investigações geofísicas, a fim de verificar a existência e a influência de fraturas e descontinuidades na eficiência hidráulica do sistema proposto.

5.4.7 Climatologia

A análise climática aplicada à seleção locacional de barramentos considerou, conforme os parâmetros metodológicos estabelecidos, a influência do regime pluviométrico sobre a viabilidade de abastecimento e a operação contínua dos reservatórios. Nesse contexto, a distribuição espacial das chuvas foi avaliada por meio de isoietas anuais, obtidas a partir de dados meteorológicos regionais, permitindo identificar variações na precipitação média que podem influenciar a disponibilidade hídrica local (CPRM, 2006). A Figura 50 apresenta o mapa de distribuição pluviométrica do município de Flores da Cunha, com destaque para os trechos de maior e menor aptidão à implantação de barragens sob a ótica climática.

Figura 50 - Mapa dos trechos fluviais considerados menos aptos à implantação de barramentos com base no critério limitante climático.



Fonte: Elaborado pela autora com base em CPRM (2006).

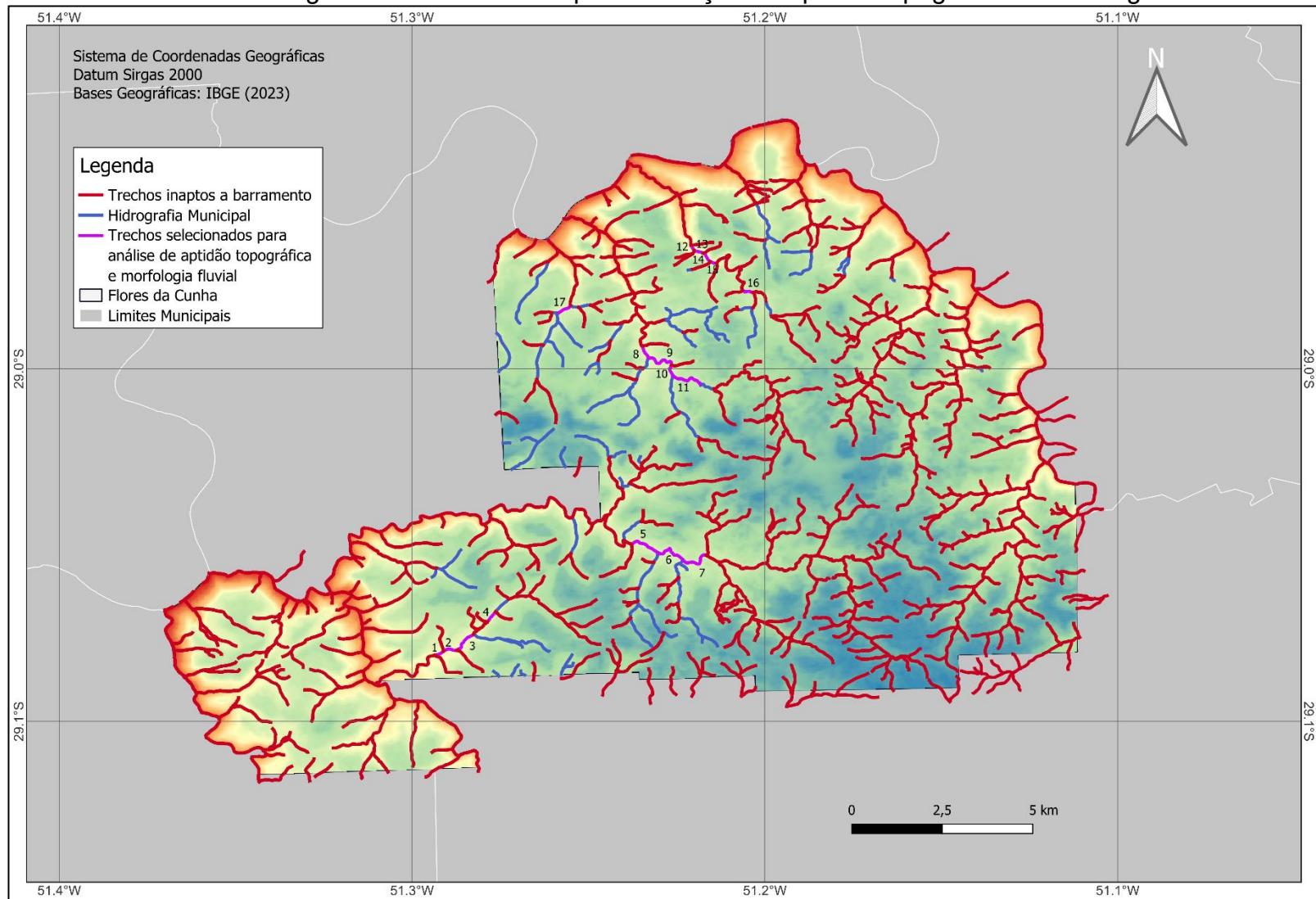
Observa-se, a partir dos resultados obtidos, que a porção sudoeste do município apresenta menores índices de precipitação anual, com isoietas próximas a 1600 mm. Embora esses trechos não sejam classificados como inaptos, apresentam menor favorabilidade para a implantação de barramentos, tendo em vista a possível limitação na recarga hídrica dos reservatórios. Portanto, tais áreas demandam uma análise mais criteriosa quanto à capacidade de regularização de vazões ao longo do tempo, não sendo descartadas, mas consideradas como alternativas menos vantajosas dentro do conjunto de opções locais.

5.4.8 Topografia e Morfologia do rio

Para a análise da topografia e da morfologia do rio, inicialmente foram reunidas e espacializadas as variáveis quantificáveis utilizadas nos critérios de seleção locacional. Essas variáveis foram integradas por meio de operações de geoprocessamento, resultando em um mapa síntese dos trechos considerados inaptos à implantação de barramentos (Figura 51). Considerando os resultados da síntese espacial das variáveis restritivas, foram também delimitados os trechos que não apresentaram impedimentos segundo os critérios previamente analisados, os quais serão submetidos, nesse subcapítulo, à avaliação de aptidão topográfica e morfológica. Sobre esses trechos, procedeu-se à geração de perfis de elevação utilizando um Modelo Digital de Elevação (MDE), com o objetivo de analisar a variação

altimétrica ao longo trecho do curso d'água. A análise desses perfis permitiu identificar, dentro de cada trecho apto, os pontos com maior potencial para a instalação de barramentos, com base na presença de desníveis naturais, na inclinação do terreno e em aspectos relacionados à viabilidade técnica e construtiva.

Figura 51 – Mapa síntese dos trechos considerados inaptos à implantação de barramentos com base nos critérios ambientais limitantes e dos segmentos selecionados para avaliação da aptidão topográfica e morfologia fluvial.

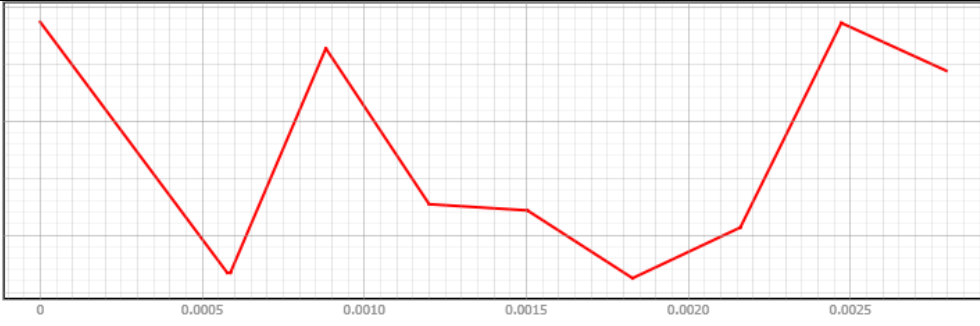
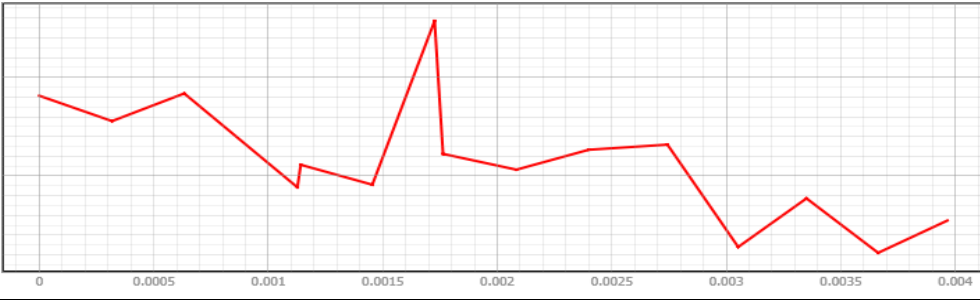
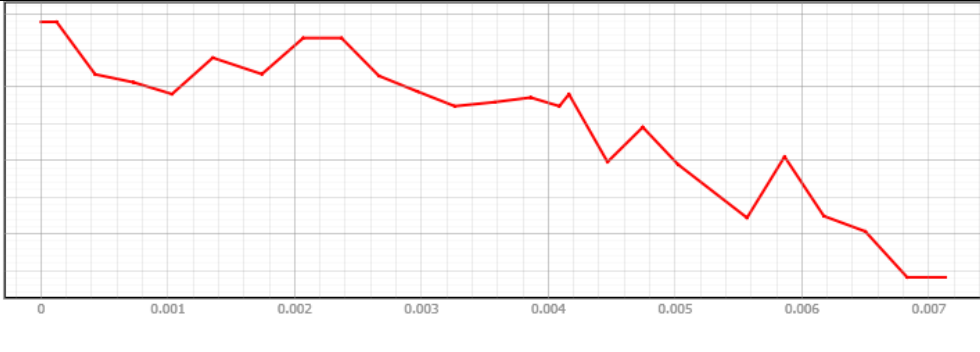


Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Cada ponto identificado na Figura 51 representa um trecho hidrológico selecionado para avaliação quanto à viabilidade topográfica e morfológica visando à implantação de barramentos. A análise concentrou-se exclusivamente em trechos fluviais de maior ordem hidrológica dentro de cada sub-bacia, objetivando otimizar a avaliação técnica, reduzir a complexidade da análise morfométrica e garantir a compatibilidade com os critérios hidrológicos estabelecidos nas etapas anteriores deste estudo. Essa estratégia metodológica fundamenta-se no fato de que cursos d'água de ordem superior apresentam maior capacidade potencial de acumulação hídrica e regularização das vazões, características desejáveis na instalação de reservatórios (Tonello et al., 2006).

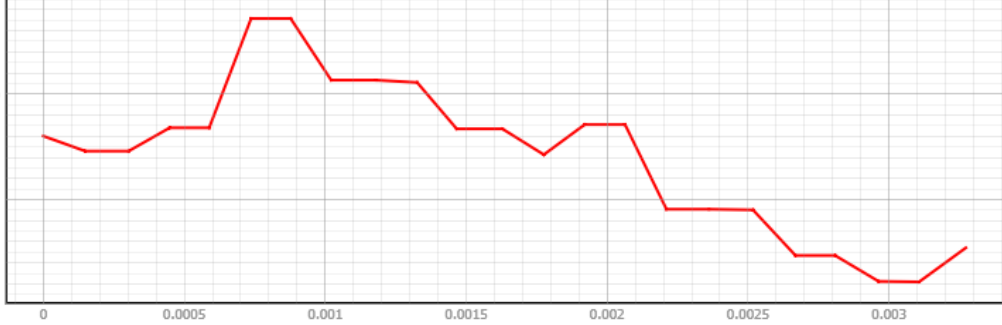
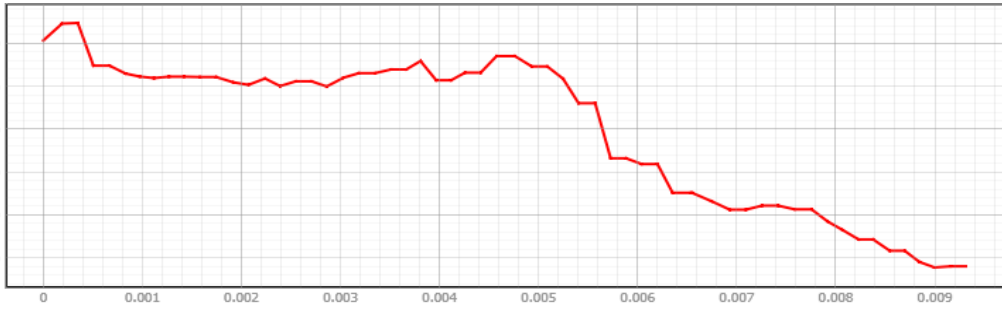

Utilizando o software QGIS e o Modelo Digital de Elevação (MDE) Copernicus de resolução espacial de 30 metros, foram gerados perfis longitudinais detalhados para cada um dos 17 trechos selecionados. Esses perfis permitiram uma análise comparativa das condições altimétricas e do potencial relativo de acumulação hídrica, conforme sintetizado na Tabela 11, a qual detalha as cotas de montante e jusante, bem como o diferencial altimétrico e a classificação qualitativa do potencial de armazenamento para cada trecho investigado.

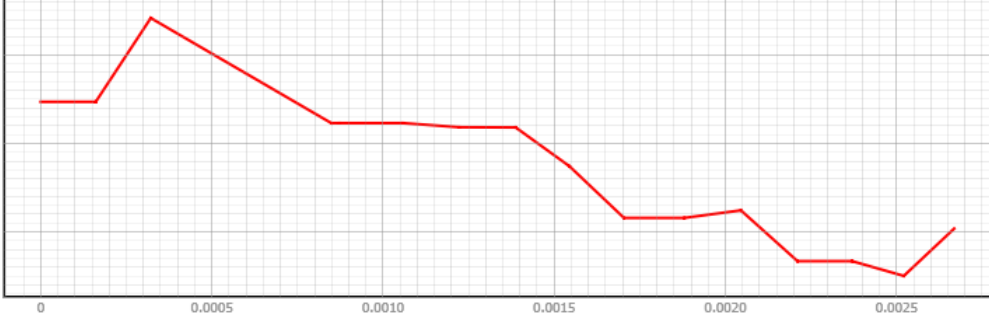
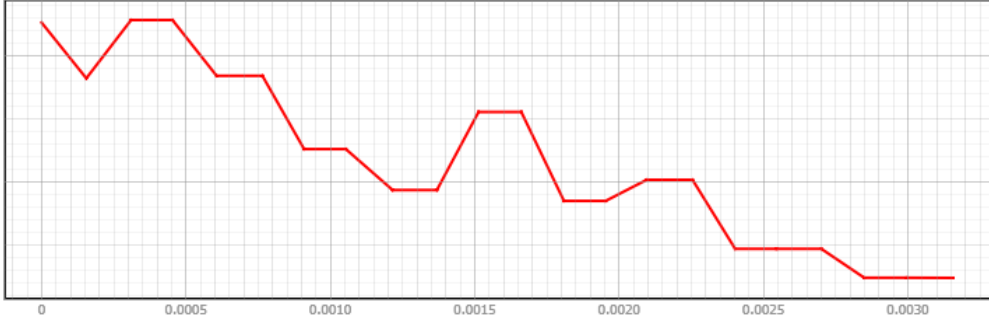
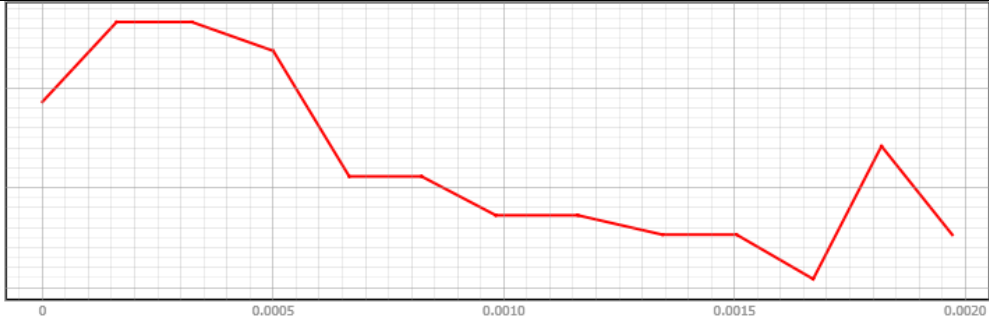
Tabela 11 - Classificação do potencial de acumulação hídrica dos trechos fluviais com base na topografia e morfologia longitudinal do perfil de elevação.

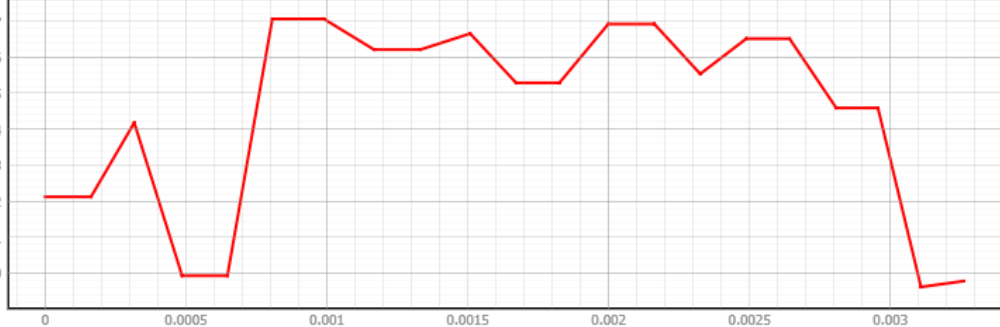
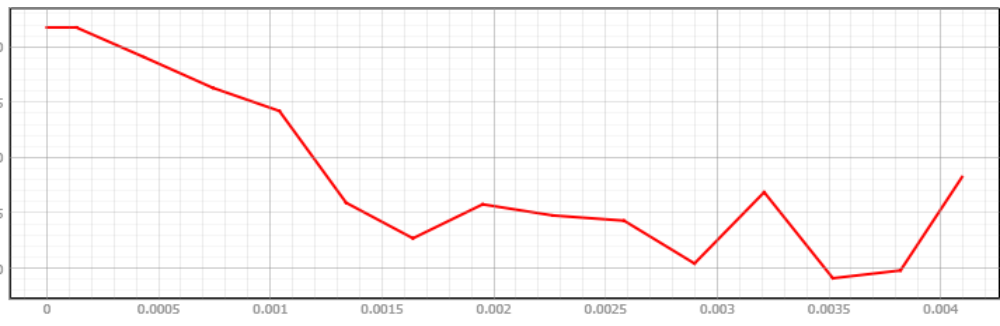
Trecho Hidrológico	PERFIL DE ELEVAÇÃO	Cota Montante (m)	Cota Jusante (m)	Diferencial Altimétrico (m)	POTENCIAL DE ACUMULAÇÃO
1		507	508	5	Alto
2		508	514	12	Baixo
3		515	550	35	Alto

Trecho Hidrológico	PERFIL DE ELEVAÇÃO	Cota Montante (m)	Cota Jusante (m)	Diferencial Altimétrico (m)	POTENCIAL DE ACUMULAÇÃO
4		577	585	15	Baixo
5		595	599	20	Alto
6		600	607	22	Baixo

Trecho Hidrológico	PERFIL DE ELEVAÇÃO	Cota Montante (m)	Cota Jusante (m)	Diferencial Altimétrico (m)	POTENCIAL DE ACUMULAÇÃO
7		608	624	32	Baixo
8		571	590	25	Moderado
9		581	603	30	Moderado

Trecho Hidrológico	PERFIL DE ELEVAÇÃO	Cota Montante (m)	Cota Jusante (m)	Diferencial Altimétrico (m)	POTENCIAL DE ACUMULAÇÃO
10		603	608	12	Muito Alto
11		608	660	57	Alto
12		484	495	16	Desfavorável

Trecho Hidrológico	PERFIL DE ELEVAÇÃO	Cota Montante (m)	Cota Jusante (m)	Diferencial Altimétrico (m)	POTENCIAL DE ACUMULAÇÃO
13		495	502	14	Muito Alto
14		503	523	20	Desfavorável
15		523	529	12	Moderado

Trecho Hidrológico	PERFIL DE ELEVAÇÃO	Cota Montante (m)	Cota Jusante (m)	Diferencial Altimétrico (m)	POTENCIAL DE ACUMULAÇÃO
16		620	622	7	Desfavorável
17		589	601	21	Baixo

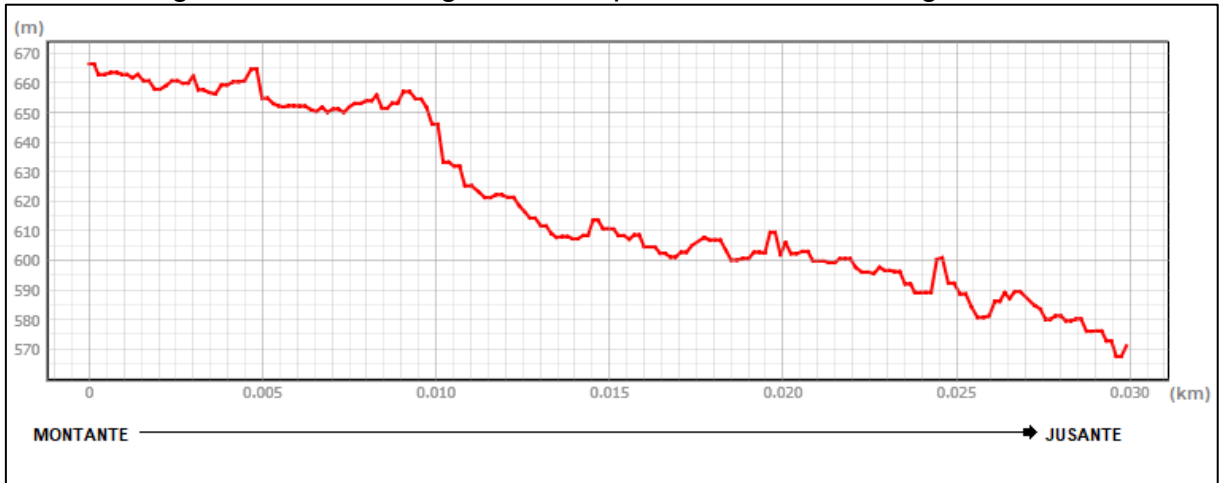
Fonte: Elaborado pela autora (2024).

A síntese morfométrica dos perfis longitudinais dos 17 trechos fluviais permitiu classificar seu potencial de acumulação hídrica em quatro níveis. Os trechos 10 e 13 destacaram-se com potencial muito alto, apresentando amplitudes altimétricas superiores a 28 metros e vales estreitos em “V” que favorecem elevado armazenamento por extensão mínima de crista. Em seguida, os trechos 1, 3, 5 e 11 foram classificados como de potencial alto, pois exibem desníveis entre 15 e 35 metros aliados a flancos pronunciados e encaixe de vale bem definido. Os segmentos 2, 4, 6, 7, 8, 9, 15 e 17 apresentaram potencial moderado, com desníveis de 12 a 21 metros, porém configurados em vales menos acentuados ou perfis mais irregulares, o que pode demandar cristas mais longas ou intervenções geotécnicas adicionais. Por fim, os trechos 12, 14 e 16, cuja morfologia evidencia vales rasos, perfis planos ou depressões mal definidas, foram considerados inaptos, sendo excluídos da seleção locacional. Essa classificação topográfica orienta a priorização dos pontos com maior viabilidade de represamento nas etapas subsequentes de análise integrada.

Com a identificação das favorabilidades topográficas dos trechos 10 e 13, a fase seguinte deste estudo envolve a extensão da análise topográfica desses dois trechos com o propósito de assinalar, dentro de um corredor ampliado, o ponto ideal para alocação da crista do barramento. Por meio do mapeamento detalhado da morfologia local, são examinadas a continuidade do encaixe do vale, a disposição dos taludes e a configuração das superfícies adjacentes, de forma a selecionar o local que melhor se integre ao relevo natural, minimizando intervenções de corte e aterro. Ressalta-se que essa etapa configura uma avaliação estritamente ambiental, centrada na compatibilidade entre a crista projetada e o perfil do terreno, sem abordagem de dimensionamento ou análise estrutural da barragem.

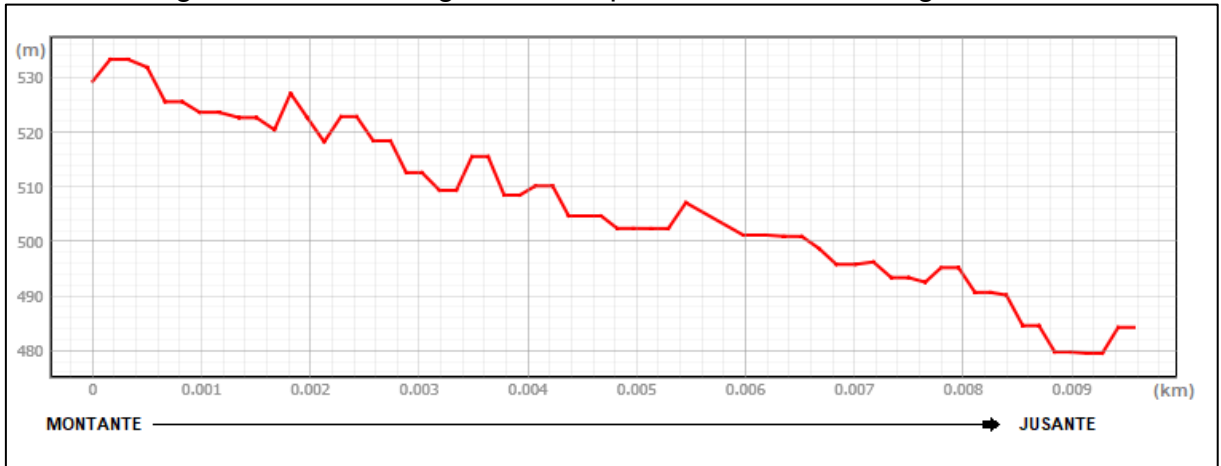
As Figuras 52 e 53 apresentam os perfis longitudinais ampliados dos trechos 10 e 13, respectivamente, os quais serão comparados em termos de conformação altimétrica e morfologia do vale para determinar a alternativa mais apta à implantação de barramento.

Figura 52 – Perfil longitudinal ampliado do trecho hidrográfico 10.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Figura 53 - Perfil longitudinal ampliado do trecho hidrográfico 13.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Entre as duas alternativas analisadas, o trecho hidrográfico nº 10 mostra-se superior em termos de aptidão ao acúmulo hídrico, pois combina um diferencial altimétrico mais expressivo (cota inicial \approx 650 metros em 0,010 km até \approx 600 metros em 0,018 km, gerando “head” hidráulico de \approx 50 metros) com um vale estreito em “V” de flancos convergentes. Essa geometria reduz sensivelmente o comprimento da crista necessária para conter o espelho d’água, em consonância com as recomendações da ICOLD (2019) e metodologia de Parizek e Voight (1970), que privilegiam o aproveitamento de gargalos topográficos naturais. Portanto, a seção ótima para implantação da crista do barramento situa-se imediatamente a jusante do entroncamento dos taludes — em torno de 0,011 km ao longo do perfil — onde a cota do terreno atinge aproximadamente 650 metros e o vale apresenta máxima convergência de encostas. Em comparação, o trecho hidrográfico nº 13, embora

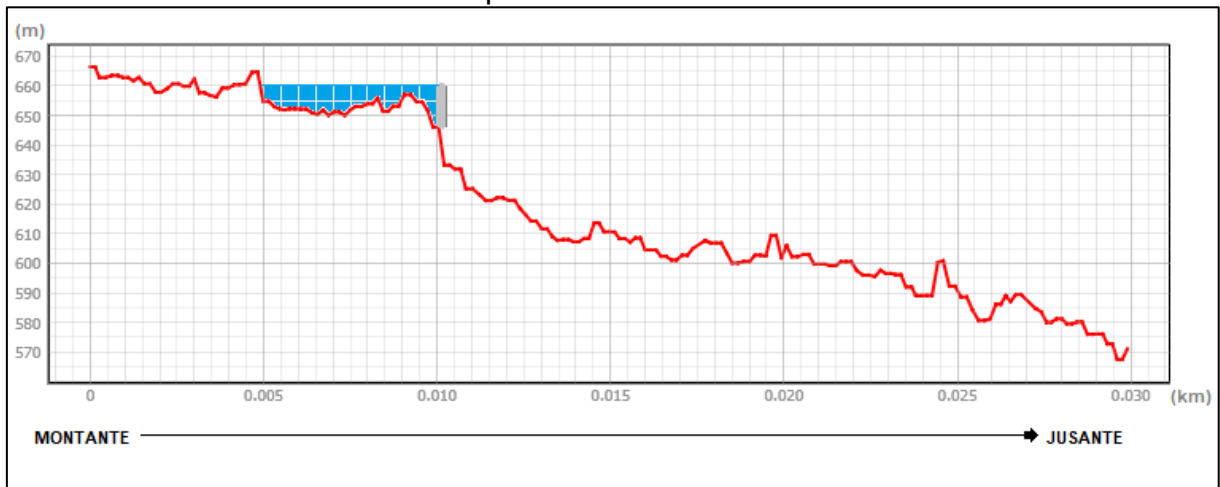
apresente um desnível uniforme de aproximadamente 45 metros, exibe vale mais aberto e flancos menos inclinados, o que exigiria extensão maior de barragem para igualar o volume de água represado. Dessa forma, a escolha do trecho hidrográfico nº 10 e da seção em 0,011 km para alocação da crista da barragem é mais economicamente favorável e encontra-se alinhada às metodologias ICOLD, a fim de maximizar o volume armazenado e minimizar as intervenções de corte e aterro.

A altura da barragem no coroamento é obtida pela diferença entre a cota máxima do espelho d'água a montante e a cota do terreno no ponto de crista (ICOLD, 1960). No caso do trecho selecionado (Opção 10), a cota de coroamento foi estimada em aproximadamente 650 metros através do perfil de elevação analisado (Figura 52), enquanto a cota máxima do espelho d'água a montante é de cerca de 665 metros. Assim, a altura mínima da barragem (H) necessária para garantir o represamento até essa cota é calculada pela Equação 2.

$$H = 665 \text{ m} - 650 \text{ m} \approx 15 \text{ metros} \quad (2)$$

Este valor corresponde à elevação da crista acima do nível do solo no ponto de implantação. Em um projeto definitivo, acrescidos ao valor básico de 15 metros deverão ser considerados os calços livres de segurança e a cota de cheia de projeto, geralmente incrementando de 1 a 2 metros para assegurar as margens de segurança contra ondas e eventos de cheia extraordinária (ICOLD, 1960). O perfil de elevação do reservatório formado a partir do dimensionamento da altura da crista é representado pela Figura 54.

Figura 54 – Perfil longitudinal do trecho selecionado para implantação da crista do barramento, com indicação da cota de coroamento e da extensão da área inundada pelo reservatório.



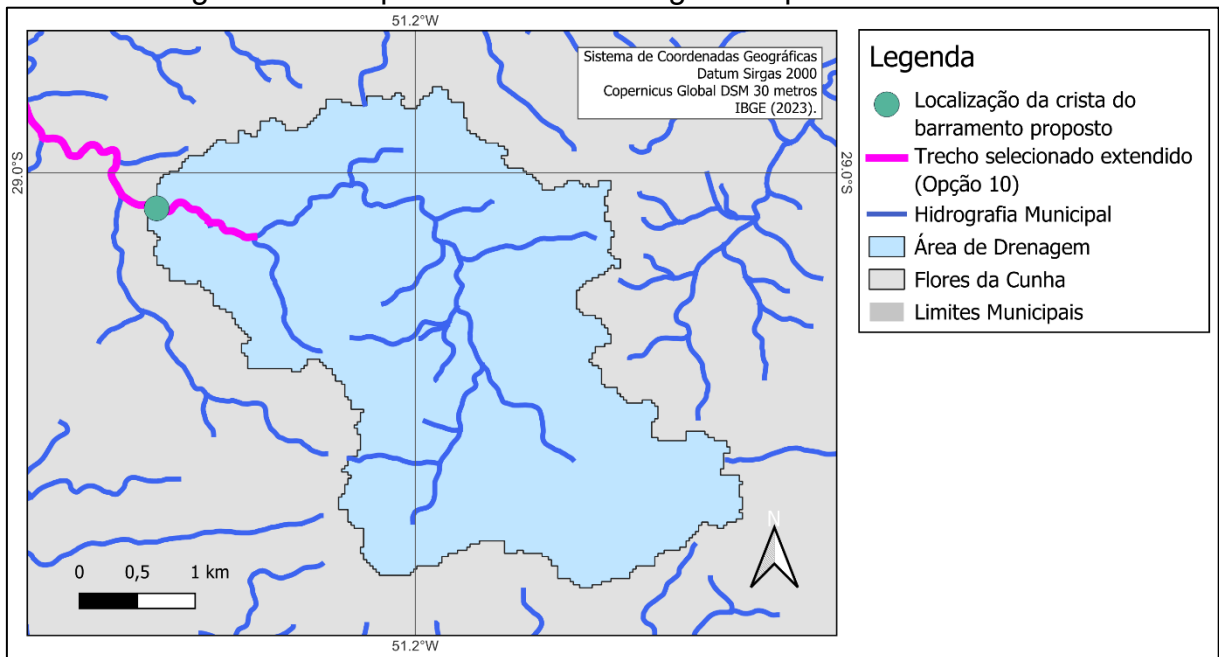
Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Em síntese, a análise do critério limitante topográfico identificou o trecho hidrográfico nº 10 como o mais apto para a implantação do barramento devido às características geomorfológicas favoráveis, destacado pela relação entre diferencial altimétrico e conformação morfológica do vale.

5.4.9 Condições Hidrológicas

Para subsidiar a análise hidrológica do ponto selecionado para implantação do barramento, apresenta-se inicialmente o mapa de drenagem da sub-bacia correspondente ao trecho hidrográfico nº 10 (Figura 55). Esse mapeamento permite a visualização da rede de drenagem natural que converge para o local proposto, servindo como base para a definição da área de contribuição e para o cálculo das vazões afluentes.

Figura 55 – Mapa da área de drenagem do ponto selecionado.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

A bacia de contribuição do ponto selecionado pela metodologia apresenta uma área de 13,81 km², está inserida na sub-bacia municipal do rio Tega, e compreende a totalidade da área de captação responsável pelo escoamento superficial que converge para o trecho onde se propõe a implantação do barramento. A delimitação foi realizada com base no Modelo Digital de Elevação (MDE) de 30 metros de resolução, considerando a rede de drenagem natural e os divisores topográficos locais.

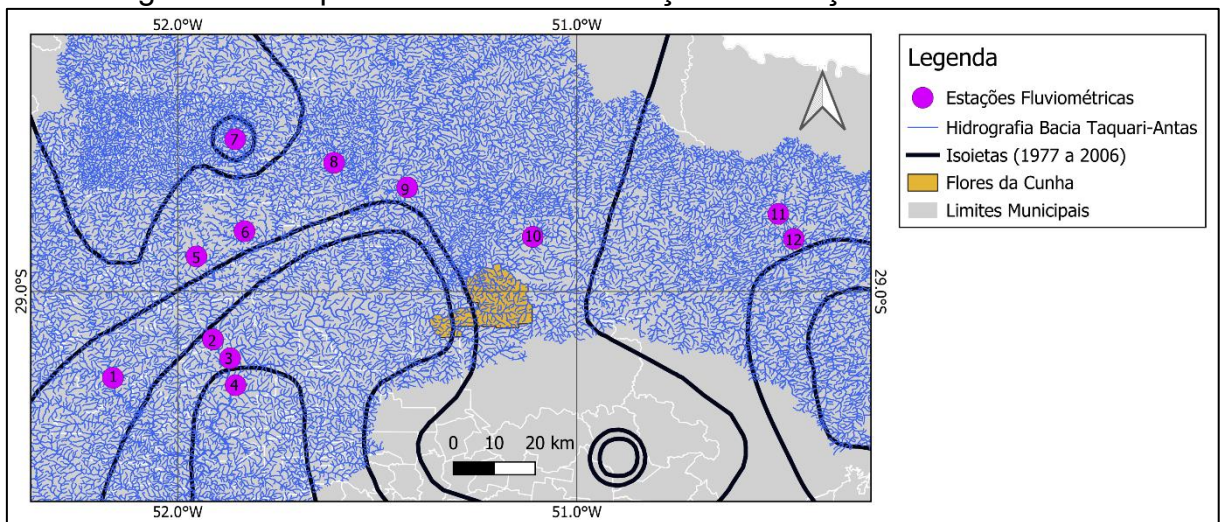
5.4.9.1 Seleção da estação fluviométrica

As informações das estações fluviométricas foram obtidas no Sistema de Informações Hidrológicas (Hidroweb) e no Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), os quais pertencem às plataformas da Agência Nacional de Águas (ANA, 2015). Para o processamento dos dados é necessário a determinação do ano hidrológico, que de acordo com Tucci (2001), a definição do ano hidrológico para cada estação fluviométrica na bacia Taquari-Antas é determinada pelo intervalo de vazões registrado. A escolha das estações fluviométricas baseou-se em cinco critérios de representatividade espacial e temporal: estarem localizadas sob a mesma isoietas da sub-bacia em estudo; apresentarem área de drenagem com dimensões e morfologia similares; disporem de série histórica superior a dez anos;

registrarem índice de falhas inferior a 10% por ano hidrológico; e manifestarem padrão de uso do solo análogo ao da área contribuinte.

Foi realizada a sobreposição cartográfica das isoietas com a localização das estações fluviométricas candidatas para avaliar a adequação espacial de cada uma ao limite pluviométrico da sub-bacia. Verificou-se também a conformidade quanto à extensão mínima da série histórica e ao índice de falhas dentro dos limites aceitáveis. A Figura 56 mostra o mapa de isoietas, as posições das estações determinadas e a área de estudo, fundamentando a seleção das estações mais representativas em termos de regime pluviométrico.

Figura 56 - Mapa de isoietas e localização de estações fluviométricas.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

As estações fluviométricas localizadas dentro da isoietas da sub-bacia, e que atenderam ao critério pluviométrico, foram selecionadas para a etapa subsequente de avaliação do formato da área de drenagem. Essas estações estão listadas na Tabela 12.

Tabela 12 - Estações fluviométricas selecionadas para análise morfométrica da área de drenagem

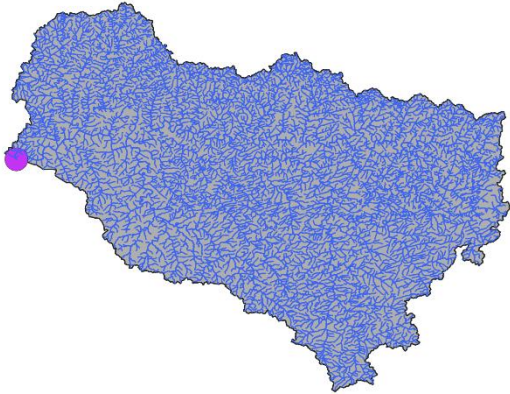
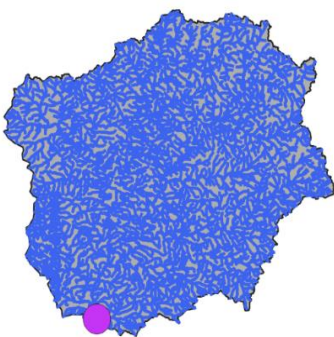
Código	Nome da Estação	Nome do Rio	Latitude (graus decimais)	Longitude (graus decimais)
86250000	Passo São Bernardo	Rio Taquari-Antas	-28,8667	-51,1167
86410000	Passo Barra do Guaiaveira	Rio Turvo	-28,8631	-51,1106
86420000	Ponte do Prata	Rio Prata	-28,6775	-51,6081

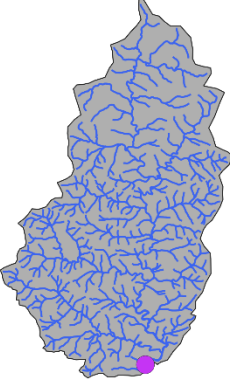
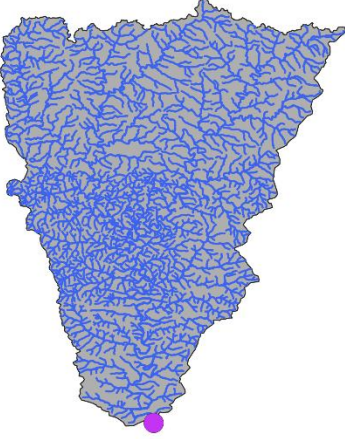
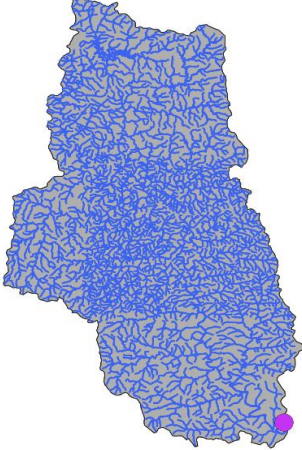
Código	Nome da Estação	Nome do Rio	Latitude (graus decimais)	Longitude (graus decimais)
86500000	Passo Carreiro	Rio Carreiro	-28,8489	-51,8325
86560000	Linha Colombo	Rio Guaporé	-28,9122	-51,9531

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Para a análise da área de drenagem, foram identificadas bacias com dimensões e morfologia análogas ao perfil de referência deste estudo. O Quadro 15 apresenta, para cada estação selecionada, a extensão da área drenante e seu contorno delimitado, parâmetros utilizados na comparação e seleção da estação mais adequada.

Quadro 15 – Áreas de drenagem de cada estação fluviométrica.

CÓDIGO DA ESTAÇÃO	ÁREA ANA (km²)	FIGURA DA MORFOLOGIA DA ÁREA DE DRENAGEM
86250000	6450	
86410000	2820	

CÓDIGO DA ESTAÇÃO	ÁREA ANA (km ²)	FIGURA DA MORFOLOGIA DA ÁREA DE DRENAGEM
86420000	317	
86500000	1820	
86560000	2030	

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Para fins de comparação morfométrica da bacia de contribuição selecionada, identificaram-se como mais compatíveis as áreas de drenagem associadas às estações fluviométricas 86250000, 86420000, 86500000 e 86560000, cujas geometrias apresentam maior similaridade com o formato da bacia em análise. Em contrapartida, a estação 86410000 foi desconsiderada, uma vez que sua área de

drenagem possui conformação mais ovalada, destoando das características geomorfológicas predominantes na área de estudo.

A etapa final consistiu na análise integrada da cobertura e uso do solo, realizada por meio de geoprocessamento em ambiente SIG com dados do MapBiomas, a fim de avaliar a similaridade entre as áreas de drenagem. A partir desse critério, associado à proximidade espacial, ao nível hierárquico do curso d'água e à adequação à metodologia de regionalização de vazões, foi selecionada a estação fluviométrica mais representativa para subsidiar a estimativa da vazão no ponto de interesse, assegurando coerência entre as variáveis hidrológicas e as características ambientais da bacia estudada.

A estação fluviométrica 86420000 foi considerada a mais adequada para aplicação da metodologia de regionalização, principalmente por sua bacia de contribuição estar integralmente inserida na mesma zona de isoietas da área de estudo. Adicionalmente, observa-se maior compatibilidade quanto à extensão da área de drenagem, nível hierárquico do curso d'água e demais critérios hidrológicos e morfométricos previamente estabelecidos.

5.4.9.2 Obtenção de séries históricas de vazão mensal

A etapa de obtenção das séries históricas de vazão mensal constitui-se o primeiro passo para a caracterização hidrológica da sub-bacia selecionada como apta para receber o barramento. Para tanto, foi selecionada a estação fluviométrica de número 86420000, Ponte do Prata, pertencente ao Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), disponibilizadas pela Agência Nacional de Águas (ANA) por meio da plataforma Hidroweb (ANA, 2015). As suas séries de vazão mensal, compreendendo o período de 1960 a 2024, foram extraídas diretamente em formato digital para processamento e análise. A coleta dos dados envolveu o download dos arquivos em formato CSV, nos quais cada linha representa o valor de vazão média mensal em metros cúbicos por segundo (m^3/s) para uma dada data. Em seguida, realizou-se uma inspeção preliminar das séries, visando identificar e tratar lacunas, valores inconsistentes e eventuais erros de registro. Quando necessário, aplicaram-se critérios de substituição ou preenchimento de dados — com a utilização da ferramenta interpolação linear — de modo a assegurar a continuidade temporal e a representatividade hidrológica dos conjuntos.

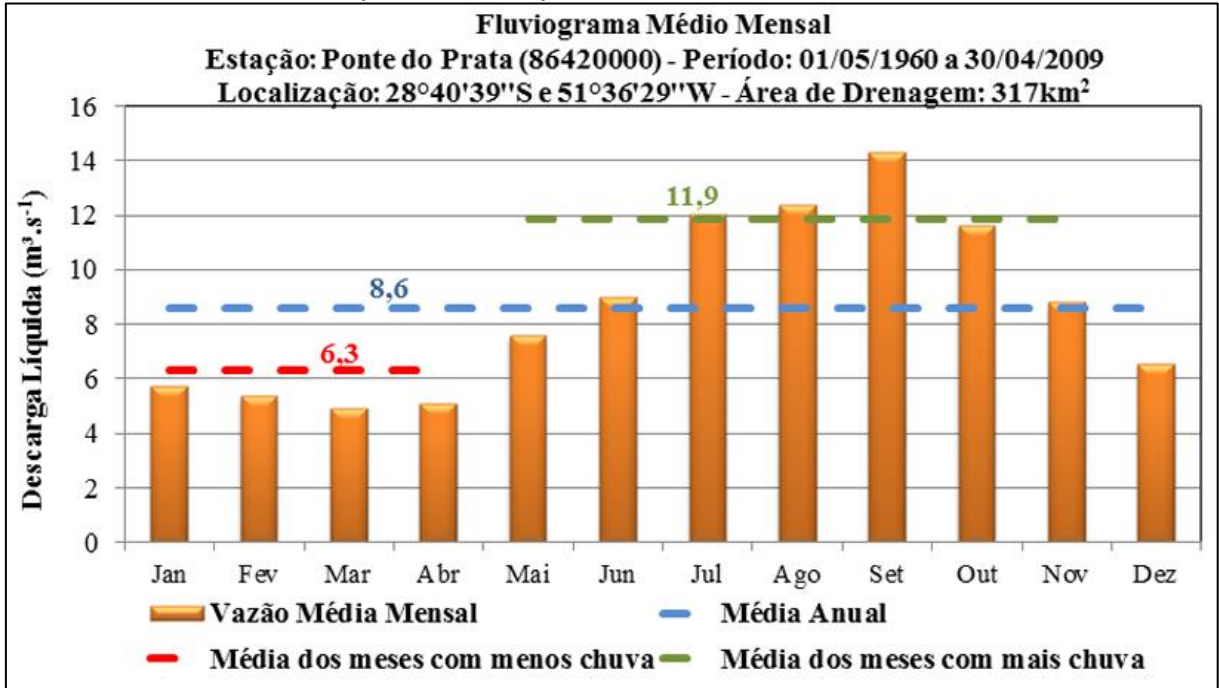
Por fim, todas as séries foram organizadas em um banco de dados relacional, estruturado de forma a permitir o cruzamento de dados com variáveis complementares. Esse repositório servirá de base para as análises estatísticas de regionalização de vazões e definição de parâmetros hidrológicos.

5.4.9.3 Vazão média mensal da estação fluviométrica

A partir das séries de vazão média mensal fornecidas pela estação fluviométrica, os dados são organizados mês a mês, possibilitando o cálculo das respectivas quintas menores vazões médias mensais da série histórica como parâmetro de análise. A Figura 57 ilustra a distribuição da vazão média mensal (em m^3/s) observada na estação fluviométrica 86420000, segundo Kich *et. al* (2015).

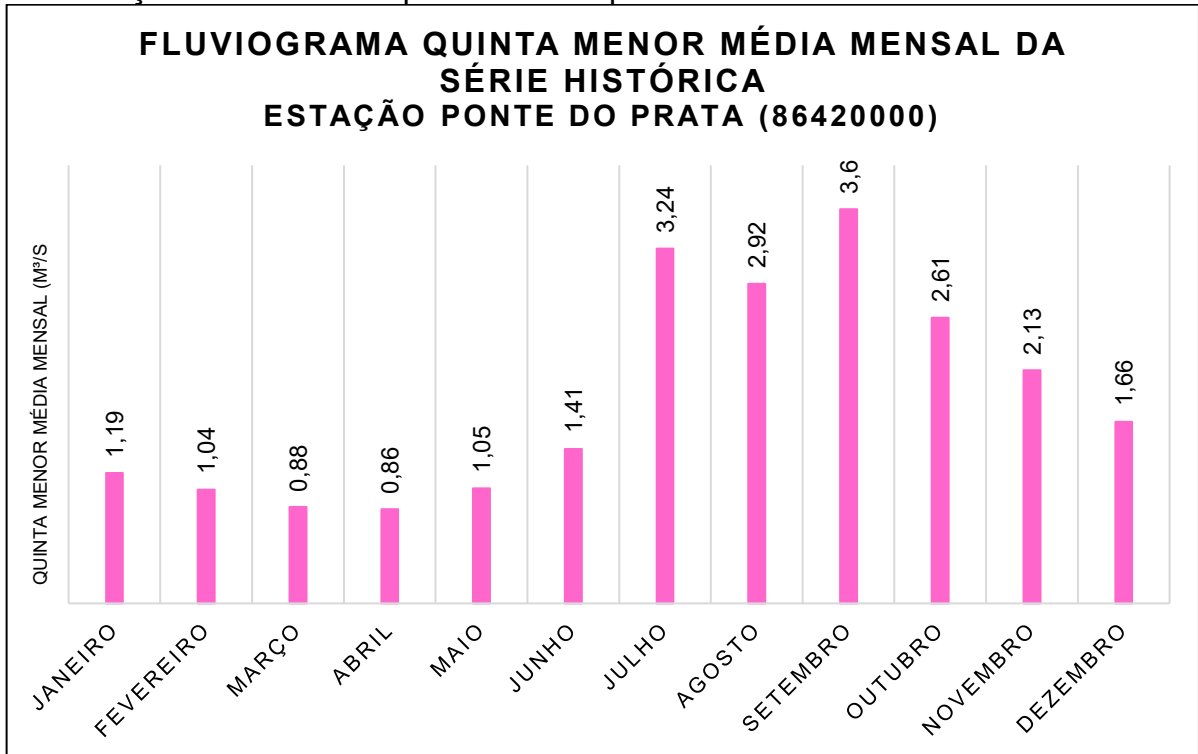
Como forma de representar um cenário conservador de disponibilidade hídrica, adotou-se a quinta menor vazão média mensal da série histórica como parâmetro de análise (Figura 58). Essa medida foi extraída a partir da ordenação dos valores mensais de vazão, em ordem crescente, ao longo de todo o período de registro da estação fluviométrica selecionada. Embora não represente um indicador estatístico de permanência formal, como a Q95, esse valor foi utilizado como proxy de baixa disponibilidade hídrica, permitindo uma avaliação preliminar da compatibilidade entre oferta e demanda no ponto de interesse. Os dados obtidos foram cruzados com os dados de Kich *et al.* (2015) e refletem o comportamento hidrológico médio ao longo do ano hidrológico, permitindo a identificação de padrões sazonais de disponibilidade hídrica e subsidiando a análise de compatibilidade entre oferta e demanda de água no ponto de interesse. Esses dados servem de base para os cálculos de vazão regionalizada a partir da proporcionalidade com a área de drenagem da bacia selecionada.

Figura 57 – Dados gráficos do fluviograma médio mensal (m³/s) da estação 86420000 compreendendo período de 01/05/1960 a 30/04/2009.



Fonte: Adaptado de Kich *et al.* (2015).

Figura 58 – Dados gráficos do fluviograma da quinta menor média mensal (m³/s) da estação 86420000 compreendendo o período de 01/01/1960 a 01/12/2024.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

A comparação entre a vazão média mensal da série histórica (Figura 57) e a quinta menor média mensal por mês (Figura 58) da estação fluviométrica Ponte do Prata (86420000) permite uma análise complementar da disponibilidade hídrica ao longo do ano. Enquanto a média mensal representa o comportamento hidrológico típico, a quinta menor média mensal reflete uma condição mais conservadora de disponibilidade, mais adequada para cenários de avaliação de segurança hídrica. Essa abordagem considera a variabilidade interanual e minimiza a influência de valores atípicos, sendo particularmente útil para estimativas de captação contínua.

5.4.9.4 Método Ponto Único de Índice de Cheia para estimativa de vazão média em bacias sem dados

O método do Índice de Cheia emprega a equação empírica de regionalização para estimar a série completa de vazões mensais em bacias não instrumentadas a partir de um único ponto de calibração. Para tanto, utiliza-se a vazão média mensal da bacia de referência — neste caso, da área de drenagem da estação fluviométrica 86420000 — e realiza multiplicação por fatores mensais adimensionais extraídos de curvas regionais da estação selecionada (Manzione *et al.*, 2010). Essas curvas indicam a fração típica de cada mês em relação ao volume anual total, permitindo reproduzir a sazonalidade sem necessidade de múltiplos pontos de calibração (Vogel e Fennessey, 1994). A definição da metodologia inicia-se pela equação de regionalização, neste estudo representada pela Equação 1.

$$Q_m = c_m \times A^b \quad (1)$$

Onde:

Q_m é a vazão média do mês m (m^3/s);

A é a área de drenagem da estação (317 km^2);

b é o expoente adotado (fixo, segundo literatura);

c_m é o coeficiente de escala, estimado a partir de um único ponto.

Para o presente estudo adotou-se $b = 0,80$, em consonância com as faixas recomendadas para a região sul do Brasil (Labat *et al.*, 2004) e utiliza-se o método de Índice de Cheia de Dalrymple (1960). Onde, com base na série histórica de vazões

mensais observadas na bacia de referência (1960-2024), calculam-se os doze coeficientes de escala mensal (c_m). A média desses coeficientes, ao longo de todo o período analisado, está compilada na Tabela 13.

Tabela 13 – Tabela dos resultados compilados dos coeficientes de escala (c_m) para a área de drenagem da estação fluviométrica 86420000 com base na série histórica (1960-2024).

Meses	Quinta menor vazão média mensal da série histórica (Q_m) (m ³ /s)	Coefficiente de escala (c_m)
Janeiro	1,19	0,01187
Fevereiro	1,04	0,01037
Março	0,88	0,00878
Abril	0,86	0,00858
Maio	1,05	0,01047
Junho	1,41	0,01407
Julho	3,24	0,03233
Agosto	2,92	0,02914
Setembro	3,6	0,03592
Outubro	2,61	0,02604
Novembro	2,13	0,02125
Dezembro	1,66	0,01656

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Antes de aplicar os coeficientes c_m às estimativas de vazão na bacia não monitorada, objeto deste estudo, é necessário quantificar a incerteza por meio de intervalos de confiança. Esses intervalos fornecem uma faixa de valores plausíveis para cada c_m , considerando a variabilidade inerente aos dados de vazão utilizados na calibração de ponto único (Labat *et al.*, 2004). No presente estudo, adotou-se o seguinte desvio-padrão dos resíduos em escala logarítmica ($\sigma \ln Q = 0,20$) conforme Labat *et al.* (2004), e calculou-se os limites inferior e superior de 95% usando os multiplicadores da Equação 2.

$$c_m \times e^{-1,96\sigma \ln Q} \quad (2)$$

Onde:

c_m é coeficiente de escala mensal obtido pela calibração uniponto, que representa a relação entre vazão média e área em cada mês;

e é a base dos logaritmos naturais, usada para reverter a transformação logarítmica e voltar ao domínio original das vazões;

$\sigma \ln Q$ é o desvio-padrão dos resíduos no domínio do logaritmo natural da vazão, quantificando a variabilidade dos ajustes feitos em escala logarítmica;

1,96 é o valor crítico da distribuição normal padrão que delimita uma área de 95% de probabilidade em torno da média.

Os multiplicadores críticos resultaram em 0,68 para o limite inferior e 1,48 para o limite superior. Os respectivos intervalos de confiança para os coeficientes de escala estão discriminados na Tabela 14.

Tabela 14 – Tabela dos resultados compilados dos intervalos de confiança (95%) para a área de drenagem da estação fluviométrica 86420000 com base na série histórica (1960-2024).

Meses	Coeficiente de escala (c_m)	Limite inferior	Limite superior
Janeiro	0,01187	0,00807	0,01756
Fevereiro	0,01037	0,00705	0,01534
Março	0,00878	0,00597	0,01299
Abril	0,00858	0,00583	0,01269
Maiο	0,01047	0,00711	0,01549
Junho	0,01407	0,00956	0,02082
Julho	0,03233	0,02198	0,04784
Agosto	0,02914	0,01981	0,04312
Setembro	0,03592	0,02442	0,05316
Outubro	0,02604	0,01770	0,03853
Novembro	0,02125	0,01445	0,03145
Dezembro	0,01656	0,01126	0,02450

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Os coeficientes de escala (c_m) apresentados na Tabela 14 fornecem o subsídio para a etapa subsequente, na qual esses parâmetros são empregados para projetar

as estimativas de vazão na área de estudo. Nesta fase, cada coeficiente de escala é aplicado à área da bacia-alvo elevada ao expoente b , de modo a gerar a série sazonal de vazões médias mensais com os respectivos intervalos de confiança. Assim, os valores calibrados na bacia de referência convertem-se em insumos diretos para a estimativa hidrológica da bacia estudada. Portanto, para cada mês, multiplica-se tanto o limite inferior quanto o limite superior, conforme as Equações 3 e 4.

$$Q_{m,min} = c_{m,min} \times A'^b \quad (3)$$

$$Q_{m,max} = c_{m,max} \times A'^b \quad (4)$$

Onde:

Q_m é a estimativa da vazão média no mês m para a bacia sem dados (m^3/s);

c_m é o coeficiente de escala mensal obtido na etapa de calibração (Tabela 14), o qual incorpora as características hidrológicas regionais e o “peso” da sazonalidade;

A' é a área de drenagem da bacia-alvo (km^2);

b é o expoente de escala, adimensional, que expressa a sensibilidade da vazão à variação de área (0,80).

A Tabela 15 apresenta as estimativas mensais de vazão média para a bacia-alvo de $13,81 km^2$, obtidas pela aplicação dos coeficientes de escala calibrados na bacia de referência ($317 km^2$) e elevando-se a área ao expoente “ b ”. Para cada mês, são exibidos o valor da vazão média mensal (Q_m) e seus limites de confiança de 95%, calculados a partir dos multiplicadores críticos de 0,68 e 1,48. Esses resultados fornecem, simultaneamente, a estimativa de vazão e a faixa de variabilidade inerente ao método, suportando as análises de disponibilidade hídrica e o dimensionamento de captações.

Tabela 15 - Tabela dos resultados compilados da vazão média mensal regionalizada para a área de drenagem da área de estudo.

Meses	Estimativa de vazão média mensal (Q_m)	Limite inferior (m^3/s)	Limite superior (m^3/s)
Janeiro	0,09696	0,04810	0,85508
Fevereiro	0,08470	0,04202	0,74698

Meses	Estimativa de vazão média mensal (Q_m)	Limite inferior (m^3/s)	Limite superior (m^3/s)
Março	0,07172	0,03558	0,63255
Abril	0,07008	0,03475	0,61794
Maio	0,08552	0,04238	0,75428
Junho	0,11493	0,05698	1,01383
Julho	0,26409	0,13102	2,32958
Agosto	0,23803	0,11809	2,09973
Setembro	0,29342	0,14557	2,58863
Outubro	0,21271	0,10551	1,87622
Novembro	0,17358	0,08613	1,53146
Dezembro	0,13527	0,0671	1,19303

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Em termos de magnitude, a vazão média mensal estimada para a bacia de estudo variou de 0,07008 m^3/s (abril) a 0,29342 m^3/s (setembro), refletindo o padrão sazonal típico da região (Cardoso *et al.*, 2004). Os intervalos de confiança de 95% demonstraram amplitude relativa de até $\pm 48\%$, evidenciando maior incerteza nos meses de pico de vazão e menor nos meses de estiagem. Essa caracterização quantitativa permite identificar os períodos de maior e menor disponibilidade hídrica e fornece os parâmetros numéricos para análise de equilíbrio entre oferta e demanda, bem como para o dimensionamento de estruturas de captação e reservação com base em um cenário de variabilidade hidrológica. Para assegurar uma abordagem mais conservadora nas estimativas de disponibilidade hídrica, adota-se, para as análises subsequentes, o limite inferior do intervalo de confiança da vazão média mensal estimada, conferindo maior restrição à avaliação da viabilidade de captação.

5.4.9.5 Fluxo ecológico mínimo

Para garantir condições ecológicas consideradas ideais no trecho a jusante de um reservatório, adotou-se o método de Richter *et al.* (2009), o qual recomenda liberar 20% da vazão média anual como fluxo ecológico mínimo. Essa parcela assegura habitat adequado, reprodução de espécies e manutenção de processos bióticos e abióticos essenciais ao equilíbrio do ecossistema aquático (Richter *et al.*, 1996). Ao

estipular o repasse de 20%, busca-se equilibrar a segurança hídrica (captação e armazenamento) com a preservação ambiental, reconhecendo que percentuais inferiores comprometem funcionalidades ecológicas enquanto valores superiores — embora benéficos para a biota — podem reduzir a eficiência de operação do sistema de reservação (Richter *et al.*, 1996).

5.4.9.6 Vazão disponível para captação

A disponibilidade hídrica para captação é limitada a 80% em função do atendimento ao fluxo ecológico mínimo, adotado através do método definido por Richter *et al.* (2009). Adicionalmente, a Resolução CRH nº 141/2014 estabelece que o volume máximo outorgável não pode exceder 50% do Q_{95} , de modo a garantir o equilíbrio ambiental e o uso múltiplo dos recursos hídricos (Brasil, 2014). Dessa forma, após estimar a demanda de água potável, verifica-se a compatibilidade entre a vazão requerida e o limite legal de 50% do Q_{95} , constituindo um critério de restrição decisivo para a localização do barramento (Tabela 1). Caso a demanda seja inferior a esse patamar, considera-se tecnicamente viável, tanto em termos de disponibilidade hídrica quanto de conformidade normativa, o aproveitamento do recurso para abastecimento humano no local avaliado. A Tabela 16 apresenta a vazão disponível para captação com base nos critérios adotados neste estudo.

Tabela 16 - Tabela dos resultados compilados da vazão média mensal disponível para captação com base no método de Richter *et al.* (2009).

Meses	Estimativa de vazão média mensal (Q_m)	Vazão disponível para captação (m^3/s)
Janeiro	0,04810	0,03848
Fevereiro	0,04202	0,033616
Março	0,03558	0,028464
Abril	0,03475	0,02780
Maio	0,04238	0,033904
Junho	0,05698	0,045584
Julho	0,13102	0,104816
Agosto	0,11809	0,094472
Setembro	0,14557	0,116456
Outubro	0,10551	0,084408

Meses	Estimativa de vazão média mensal (Q_m)	Vazão disponível para captação (m^3/s)
Novembro	0,08613	0,068904
Dezembro	0,0671	0,05368

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Em síntese, a adoção do fluxo ecológico mínimo de 20% da vazão média anual, aliada ao limite legal de outorga de 50% do Q_{95} (Brasil, 2014), estabelece um teto duplamente consagrado para a captação. A verificação de que a demanda de abastecimento humano permanece abaixo dessa restrição confirma, em termos hidrológicos e normativos, a viabilidade do ponto de captação estudado. Essa convergência entre requisitos ambientais e legais constitui o parâmetro decisivo para avançar às fases subsequentes de projeto e licenciamento.

5.4.9.7 Demanda mensal projetada

A projeção da demanda hídrica para abastecimento humano no horizonte de 2103 considerou três componentes principais: a demanda líquida de consumo, as perdas no sistema de distribuição e a contribuição já existente de poços tubulares implantados no município. A demanda líquida total estimada foi de 12.047.291,28 m^3 /ano (Tabela 9), correspondente ao volume efetivamente consumido pela população urbana e rural. Considerando-se que, em sistemas públicos de abastecimento, em média 75% da água captada é efetivamente consumida (ANA, 2019), obteve-se a demanda de produção bruta de 16.063.055,04 m^3 /ano. Sobre esse valor, aplicou-se um índice de perdas por distribuição de 27,5%, valor adotado em sistemas de abastecimento a fim de adequar-se à Portaria do Governo Federal n° 490, de 22 de março de 2021 (Brasil, 2021), o que resultou em uma demanda bruta total de captação de 22.159.387,65 m^3 /ano, necessária para atender integralmente à população projetada, considerando as ineficiências do sistema.

Paralelamente, estimou-se a contribuição dos poços tubulares já existentes no município, considerando que não haverá novas implantações para abastecimento humano até o ano de 2103, cuja capacidade conjunta de extração foi estimada em 3.877.596,00 m^3 /ano (ISAM, 2023). Aplicando-se o mesmo índice de perdas por distribuição (27,5%), o volume efetivamente aproveitado dos poços foi calculado em

2.811.257,1 m³/ano. A diferença entre a demanda bruta total (22.159.387,65 m³/ano) e o volume efetivo já suprido pelos poços (2.811.257,1 m³/ano) define o volume anual que deverá ser garantido pelo reservatório a ser implantado, totalizando 19.348.130,55 m³/ano.

A demanda mensal foi determinada e projetada a partir dos volumes de consumo fornecidos pela CORSAN relativos ao ano período de dezembro de 2022 a fevereiro de 2023. Em razão da ausência de dados para abril, foi aplicada interpolação linear entre os valores de março e maio para estimar o volume de referência. A Tabela 17 apresenta esses volumes mensais e a conversão de volume mensal (m³) para vazão média (m³/s), a qual é feita dividindo-se o volume total pelo intervalo de tempo correspondente, em segundos, de acordo com a Equação 5 e dados extraídos da Tabela 10.

$$Q = \frac{V_{mês}}{D \times 24 \times 3600} \quad (5)$$

Onde:

Q é a vazão média mensal (m³/s);

$V_{mês}$ é o volume consumido no mês (m³);

D é o número de dias do mês (normalmente 28 a 31).

Tabela 17 – Tabela dos resultados dos dados de demanda de vazão mensal projetada para 2103.

Meses	Volume mensal consumido (m ³) em 2023	Volume disponibilizado (m ³) em 2023	Vazão mensal disponibilizada (m ³ /s) em 2023	Projeção de volume mensal consumido (m ³) em 2103	Vazão mensal de demanda (m ³ /s) em 2103
Janeiro	126.699,00	203.862,00	0,076	395.736,75	0,071
Fevereiro	128.633,00	190.441,00	0,078	401.777,48	0,088
Março	120.825,00	210.301,00	0,078	377.389,66	0,062
Abril	113.210,00	196.700,00	0,075	353.604,66	0,061
Maio	105.596,00	183.100,00	0,068	329.822,79	0,055
Junho	119.469,00	176.467,00	0,068	373.154,28	0,075
Julho	118.842,00	199.094,00	0,074	371.195,88	0,064
Agosto	126.557,00	202.537,00	0,075	395.293,22	0,072

Meses	Volume mensal consumido (m³) em 2023	Volume disponibilizado (m³) em 2023	Vazão mensal disponibilizada (m³/s) em 2023	Projeção de volume mensal consumido (m³) em 2103	Vazão mensal de demanda (m³/s) em 2103
Setembro	134.444,00	193.939,00	0,074	419.927,79	0,074
Outubro	119.496,00	197.656,00	0,073	373.238,61	0,066
Novembro	128.326,00	207.626,00	0,080	400.818,59	0,074
Dezembro	126.824,00	203.774,00	0,076	396.127,18	0,071

Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados disponibilizados pela CORSAN (2024).

Considerando que os volumes disponibilizados pelos poços municipais permanecerão inalterados, a Tabela 17 apresenta as vazões médias mensais (m³/s) correspondentes à demanda projetada de abastecimento humano para o horizonte de planejamento. Esses valores foram obtidos pela conversão da demanda anual em vazão mensal, ajustada pelos padrões sazonais de consumo. Na etapa seguinte da metodologia, calcular-se-á a vazão necessária ao abastecimento, a qual servirá de parâmetro de comparação com a disponibilidade hídrica estimada, subsidiando a avaliação da viabilidade técnica da captação no ponto selecionado para implantação do barramento.

5.4.9.8 Análise da capacidade de atendimento da bacia determinada à demanda de abastecimento público

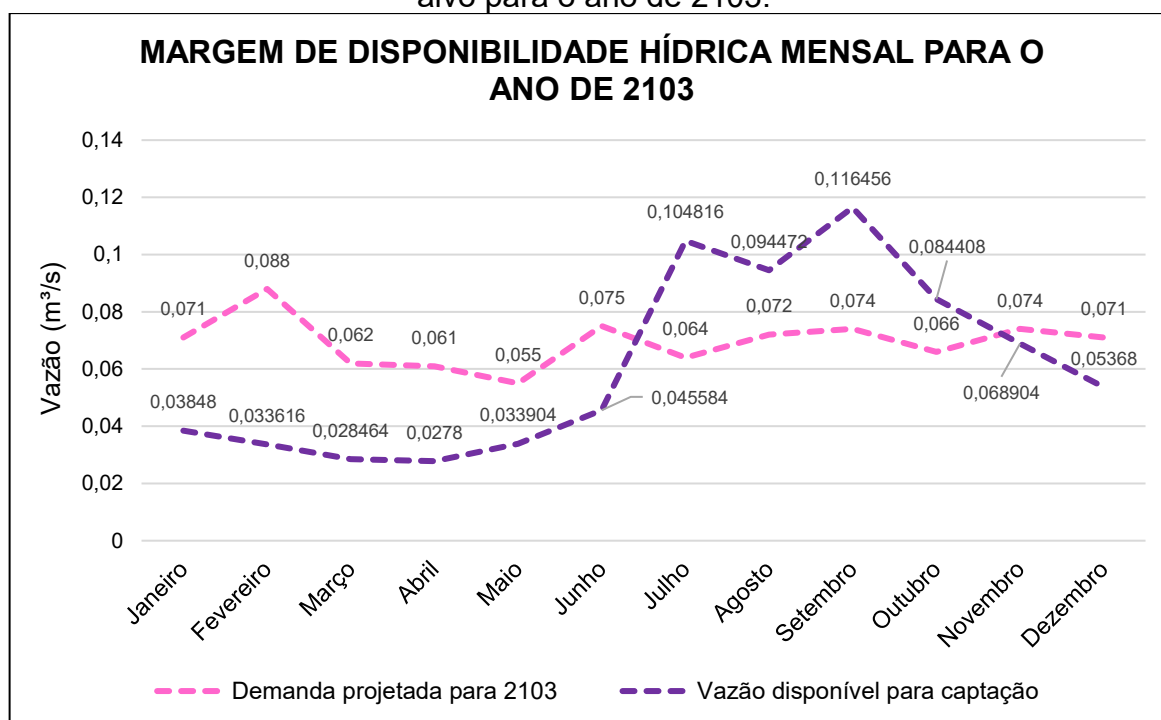
Neste subcapítulo avalia-se a capacidade de atendimento da bacia-alvo à demanda de abastecimento público projetada, integrando as vazões mensais estimadas (Tabela 17) com os volumes projetados de consumo para 2103, à luz das restrições ambientais e legais. Para tanto, confrontam-se as séries de vazão média mensal estimadas para a bacia de 13,81 km² considerando intervalos de confiança de 95% com a projeção de demanda populacional ajustada (razão do crescimento populacional de 2023 a 2103) junto aos limites definidos pelo fluxo ecológico (50% da vazão média anual). Esse confronto permite identificar, mês a mês, os excedentes ou déficits hídricos potenciais e determinar a viabilidade operacional e normativa da captação para abastecimento humano. A Tabela 18 e a Figura 59 apresentam os dados de margem de disponibilidade hídrica mensal para o ano de 2103.

Tabela 18 - Avaliação mensal do balanço hídrico para abastecimento no horizonte de 2103.

Meses	Demanda projetada 2103 (m ³ /s)	Vazão disponível para captação (m ³ /s) após adequação ao fluxo ecológico (20%)	Saldo Hídrico Mensal	
Janeiro	0,071	0,03848	-0,03252	Saldo hídrico negativo
Fevereiro	0,088	0,033616	-0,05438	Saldo hídrico negativo
Março	0,062	0,028464	-0,03354	Saldo hídrico negativo
Abril	0,061	0,02780	-0,0332	Saldo hídrico negativo
Maio	0,055	0,033904	-0,0211	Saldo hídrico negativo
Junho	0,075	0,045584	-0,02942	Saldo hídrico negativo
Julho	0,064	0,104816	0,040816	Saldo hídrico positivo
Agosto	0,072	0,094472	0,022472	Saldo hídrico positivo
Setembro	0,074	0,116456	0,042456	Saldo hídrico positivo
Outubro	0,066	0,084408	0,018408	Saldo hídrico positivo
Novembro	0,074	0,068904	-0,0051	Saldo hídrico negativo
Dezembro	0,071	0,05368	-0,01732	Saldo hídrico negativo

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Figura 59 - Dados gráficos da margem de disponibilidade hídrica (m³/s) da bacia-alvo para o ano de 2103.



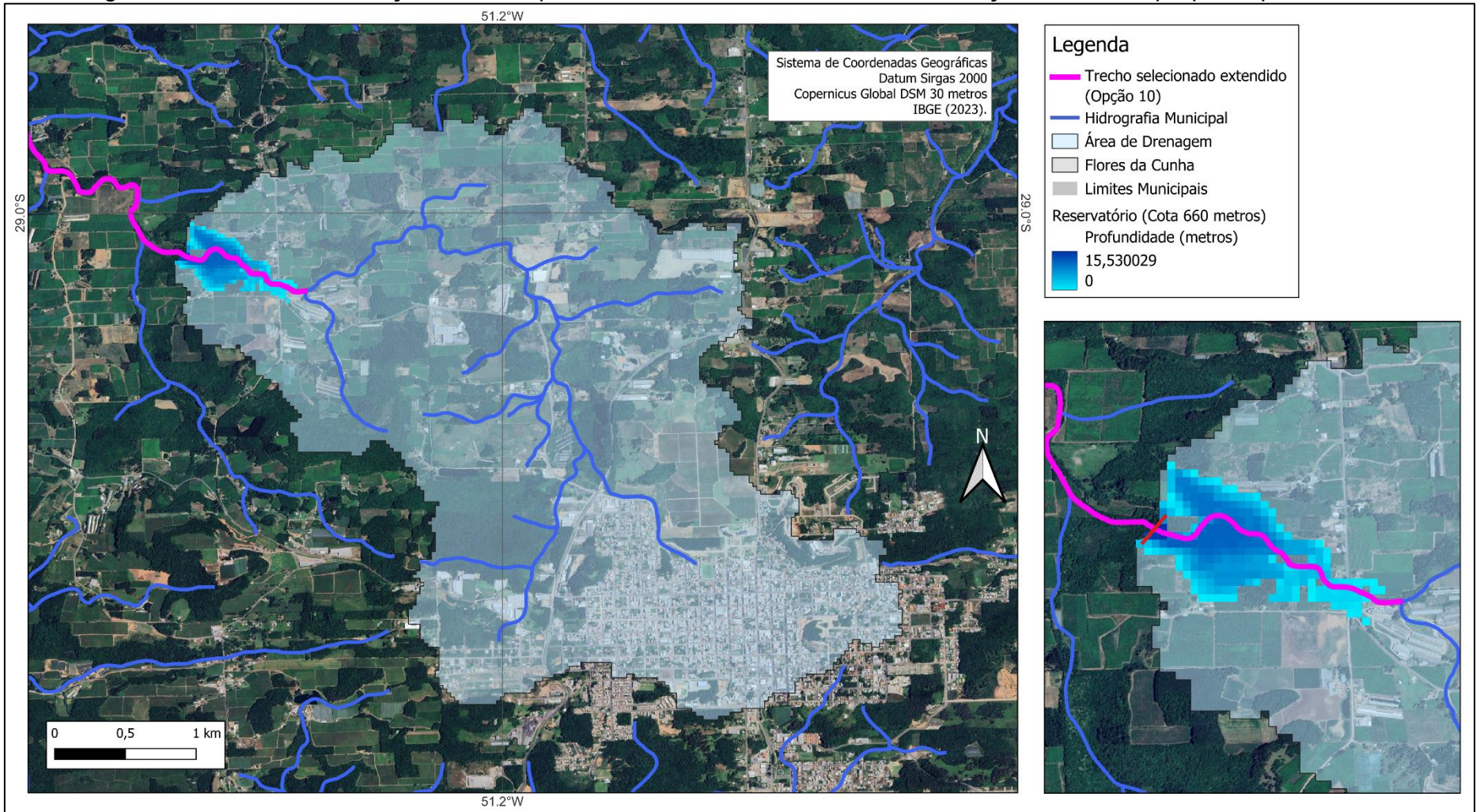
Fonte: Elaborado pela autora (2024).

A avaliação da disponibilidade hídrica mensal em relação à demanda projetada para o ano de 2103 revela que, nos meses de janeiro a junho e em dezembro, a vazão disponível para captação é inferior à requerida para o abastecimento, caracterizando um déficit hídrico persistente nesse intervalo. Essa condição compromete a regularidade do suprimento ao longo do ano, evidenciando a insuficiência da disponibilidade natural para atender à demanda nos períodos de menor oferta. Diante desse cenário, a adoção de medidas estruturais para regularização da vazão é necessária, sendo o barramento uma alternativa técnica viável para o armazenamento de água nos períodos excedentes, especialmente entre julho e outubro, quando a vazão disponível supera a demanda. O reservatório formado pelo barramento permite a compensação hídrica ao longo do ano, garantindo o atendimento contínuo da demanda, nos meses críticos.

5.5 VIABILIDADE DE CAPTAÇÃO

A análise da disponibilidade hídrica mensal, representada na Figura 59, evidencia a ocorrência de déficit nos meses de janeiro a junho e em dezembro, nos quais a vazão disponível para captação se apresenta inferior à demanda projetada para o ano de 2103, considerando a alocação de 20% da vazão média mensal para manutenção do fluxo remanescente. Essa limitação reforça a inviabilidade de captação direta nos períodos críticos sem a adoção de uma estrutura de regularização de vazão. Por outro lado, entre os meses de julho e novembro observa-se superávit hídrico, com disponibilidade superior à demanda, o que permite o armazenamento de excedentes para posterior utilização. Assim, a implantação de um barramento para fins de acumulação hídrica configura-se como medida tecnicamente viável, uma vez que possibilita o balanceamento da oferta ao longo do ano, assegurando o atendimento da demanda mensal sem comprometer o regime de vazão ambiental. A Figura 60 ilustra, em ambiente SIG, o contorno do reservatório projetado no ponto de implantação selecionado, viabilizando a visualização da área inundável e sua integração com os elementos do território avaliado.

Figura 60 – Área de Inundação formada pelo reservatório do barramento na seleção locacional proposta pelo estudo.



Fonte: Elaborado pela autora (2024).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo desenvolveu uma metodologia para a seleção locacional de barramento com finalidade de abastecimento público no município de Flores da Cunha – RS, com base em critérios ambientais, técnicos e hidrológicos. A abordagem foi conduzida por meio de etapas sequenciais estruturadas em ambiente de geoprocessamento, utilizando dados cartográficos, hidrológicos e morfométricos.

Os critérios limitantes envolveram aspectos como segurança de barragens, geologia, pedologia, uso do solo, vegetação, áreas de preservação permanente, condições climáticas e hidrogeológicas. Esses parâmetros foram aplicados com base na legislação vigente e sistematizados em ambiente SIG, permitindo a redução da área de busca e a identificação de trechos potencialmente viáveis.

A etapa de análise topográfica foi realizada a partir da geração de perfis de elevação de 17 trechos fluviais, classificados quanto ao potencial de acumulação hídrica. Os trechos 10 e 13 foram selecionados para avaliação detalhada, com base em parâmetros altimétricos e morfológicos. O trecho 10 foi indicado como o mais favorável, considerando a convergência dos taludes, o diferencial de cota e a configuração do vale. A crista do barramento foi posicionada em seção com características geométricas compatíveis, e a altura estimada da estrutura foi determinada com base na diferença entre a cota do coroamento e a cota máxima do espelho d'água.

Na análise hidrológica, foi adotado o método da regionalização de vazões médias mensais, com base em séries históricas da estação fluviométrica selecionada segundo critérios de similaridade física, uso do solo e representatividade espacial. O cálculo da vazão disponível considerou o fluxo ecológico mínimo correspondente a 20% da vazão média mensal, conforme recomendações técnicas. A projeção da demanda hídrica anual foi convertida em demanda mensal, permitindo a verificação da viabilidade da captação em relação à disponibilidade hídrica regionalizada.

Os resultados obtidos orientam a tomada de decisão quanto à viabilidade técnica e ambiental da implantação do barramento no trecho identificado. Etapas adicionais requerem análises complementares, como estudos geotécnicos, modelagem hidráulica, avaliação de impactos ambientais e verificação de outorga com base em vazões de referência conforme definido pela legislação estadual.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14001: Sistemas da Gestão Ambiental - Requisitos com Orientações para Uso**. Rio de Janeiro. ABNT, 2015.

ABSY, Miriam Laia *et al.* **Avaliação de impacto ambiental: agentes sociais, procedimentos e ferramentas**. Brasília: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis, 1995.

ADASA - AGÊNCIA REGULADORA DE ÁGUAS, ENERGIA E SANEAMENTO BÁSICO DO DISTRITO FEDERAL. **Água e Sociedade: 8º Fórum Mundial da Água Resultados e Discussões – Volume 3 / Brasília, DF: Adasa, 2022. 80 p.**

AGEITEC - AGÊNCIA EMBRAPA DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA. **Solos**. Embrapa, 2023. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/arroz/arvore/CONT000fesi63xh02wx5eo0y53mhyx67oxh3.html>. Acesso em: 18 jun. 2023.

ALMEIDA, Lúcia Marina Alves de; RIGOLIN, Tércio Barbosa. **Geografia**. Volume único. São Paulo: Ática, 2003.

AMIRSAYAFI, P. **Measures for Success in Dam Bottom Outlet Design**. GSTF Journal of Engineering Research, [s. l.], 2015.

AMARAL, A. M. P., **Consumo Total e Residencial de Água Tratada: Aplicação de um modelo de séries temporais em Piracicaba, SP**. Tese de Doutorado Escola Superior de Agricultura “Luis de Queirós” USP.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Manual de procedimentos técnicos e administrativos de outorga de direito de uso de recursos hídricos da Agência Nacional De Águas**, Brasília, p.252, 2013.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Manual de usos consuntivos da água no Brasil**. Brasília, DF, 2019b. Disponível em: http://biblioteca.ana.gov.br/asp/download.asp?codigo=134951&tipo_midia=2&ilIndexSrv. Acesso em: Out. 2024.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Usos da água**. 2019a. Disponível em: <http://www3.ana.gov.br/porta/ANA/usos-da-agua/outros-usos>. Acesso em: Out. 2024.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Relatório de Segurança de Barragens - 2022**. 2022. Disponível em: https://www.snirh.gov.br/porta/snirh/relatorio-anual-de-seguranca-de-barragem/RSB_LinguagemSimples/cartilha-sintese-barragens.pdf. Acesso em: Jun. 2024.

ANDRADE, Natalia Resende. **Avaliação dos procedimentos de outorga para implantação de barragens**. 2012. Dissertação de mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Universidade de Brasília, 2012.

ANM - AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. **Pesquisar processos**. <https://sistemas.anm.gov.br/SCM/site/admin/pesquisarProcessos.aspx>. Disponível em: <https://sistemas.anm.gov.br/SCM/site/admin/pesquisarProcessos.aspx>. Acesso em: 16 Out. 2024.

ANM - AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO. **Report mensal barragens de mineração agosto**. Brasília, 2021

ASSIS, A. P. *et al.* (2006). **Apostila de Barragens**. Publicação G.AP-AA006/02, Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal.

BAPTISTA, Márcio Benedito; CARDOSO, Adriana Sales. **Rios e cidades: uma longa e sinuosa história**. Revista da Universidade Federal de Minas Gerais, v. 20, n. 2, p. 124-153, 2013.

BASTOS, R. K. X. **Roteiro de orientação para implantação de Planos de Segurança da Água – PSA**. 87p. 2010.

BENDATI, M.M.; SCHWARZBACH, M.S; MAIZONAVE, C.R.M.; BITTENCOURT, L.; BRINGHENTI, M. **Avaliação da qualidade da água do Lago Guaíba (Rio Grande do Sul, Brasil) como suporte para a gestão da bacia hidrográfica**. Anais do XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Alegre, 2000.

BOMBASSARO, Magno; DE SOUZA ROBAINA, Luis Eduardo. **Contribuição geográfica para o estudo das inundações na bacia hidrográfica do rio Taquari-Antas, RS**. Revista Geografias, v.6, n. 2, p. 69-86, 2010.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil, de 1988**. 1988. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 17 jun. 2024.

BRASIL. **Divisão regional do Brasil em mesorregiões e microrregiões geográficas**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, Departamento de Geografia. Rio de Janeiro: IBGE, 1990.

BRASIL. **Lei Complementar nº 140, de 8 de dezembro de 2011**. 2011. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp140.htm. Acesso em: Jun. 2024.

BRASIL. **Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979**. 1979. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6766.htm. Acesso em: Out. 2024.

BRASIL. **Lei nº 6.803, de 2 de julho de 1980**. 1980. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6803.htm#:~:text=LEI%20No%206.803%2C%20DE%20%20DE%20JULHO%20DE%201980.&text=Disp%C3%B5e%20sobre%20as%20diretrizes%20b%C3%A1sicas,Art%20. Acesso em: Jun. 2024.

BRASIL. **Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981.** 1981. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: 14 abr. 2024.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997:** Lei das Águas. 1997. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em: Maio 2024.

BRASIL. **Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000.** 2000. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9984.htm#:~:text=LEI%20No%209.984%20C%20DE%2017%20DE%20JULHO%20DE%202000.&text=Disp%C3%B5e%20sobre%20a%20cria%C3%A7%C3%A3o%20da,H%C3%ADricos%2C%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%A2ncias. Acesso em: Maio 2024.

BRASIL. **Lei nº 11.428, de 25 de dezembro de 2006.** Brasília, DF: Presidência da República, 2006. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2006/Lei/L11428.htm. Acesso em: Out. 2024.

BRASIL. **Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010.** 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12334.htm. Acesso em: Jun. 2024.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012:** Novo Código Florestal. 2012. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1930-1939/decreto-23793-23-janeiro-1934-498279-publicacaooriginal-78167-pe.html>. Acesso em: Jun. 2024.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020.** 2020. Brasília: Presidência da República, 2020a. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm. Acesso em: Jun. 2024.

BRASIL. **Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020.** 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14066.htm. Acesso em: Jun. 2024.

BRASIL. **Lei nº 24.643, de 10 de julho de 1934:** Código da Águas. 1934. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d24643compilado.htm. Acesso em: 17 jun. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Curso de vigilância de saúde da água para consumo humano.** Brasília, DF. 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. **Manual de Procedimentos de vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano.** Brasília, DF. 2021a. 293p.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021.** 2021. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html. Acesso em: Out. 2024.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 01, de 23 de janeiro de 1986.** 1986. Disponível em: chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0001-230186.PDF. Acesso em: 14 abr. 2024.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 06, de 24 de janeiro de 1986.** 1986. Disponível em: https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0006-240186.PDF. Acesso em: Jun. 2024.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 237, de 19 de dezembro de 1997.** 1997. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=237. Acesso em: Jun. 2024.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 302, de 20 de março de 2002.** 2002. Disponível em: https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=98315. Acesso em: Jun. 2024.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005.** 2005. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfda_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf. Acesso em: Jun. 2024.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 369, de 28 de março de 2006.** 2006. Disponível em: https://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=5486. Acesso em: Jun. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. **Plano de segurança da água:** garantindo a qualidade e promovendo a saúde - um olhar do SUS. Brasília: Ministério da Saúde. Disponível em: <Disponível em: http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/plano_seguranca_agua_qualidade_sus.pdf >. Acesso em: Maio 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Manual de procedimentos de vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano.** Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. – Brasília: Ministério da Saúde, 2006. 284 p. – (Série A. Normas e Manuais Técnicos).

BREDA, B.; VIGOLO, M.; SCHNEIDER, V. E. **Avaliação das mudanças climáticas:** estudo de caso do município de Caxias do Sul-RS. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 31., 2021, Curitiba. Anais [...]. Curitiba, 2021. Disponível em: https://icongresso.abes-dn.itarget.com.br/anais/index/resultado/index/index/cc/9.

BORTOLIN, Taison Anderson. **Estudo da recarga do Sistema Aquífero Serra Geral na bacia hidrográfica Taquari-antas.** 2018. Dissertação de Doutorado em

Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

CANO, Hellen. Scarcello, J. Antônio. Guimarães, L. Teixeira. Oliveira, Paula Terezina T. Macedo. (2011). **Saneamento segundo a bacia hidrográfica**. Atlas de saneamento, IBGE. Brasil.

CAMARGO, Renato de. **Proposta de zoneamento ambiental para o município de Flores da Cunha**. Ijuí, 2013.

CAMPANA, Nestor Aldo; BERNARDES, Ricardo Silveira. Qualidade do escoamento na rede de drenagem pluvial urbana: a situação de Brasília-DF. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 7, p. 53-65, 2010.

CAMPOS, R. **Considerações sobre a Meia-Vida de um Reservatório no Semi-Árido Brasileiro**. In: I Simpósio de Recursos Hídricos do Centro Oeste, ABRH, Cuiabá, Mato Grosso. 2007.

Cardoso, L. S., Junges, A. H., Tazzo, I. F., Varone, F., Varone, F. 2022. **Comunicado agrometeorológico especial estiagem 2021/2022**: estiagem ocorrida na safra 2021/2022 no estado do Rio Grande do Sul: avaliação semanal, de janeiro a março, das condições meteorológicas e dos impactos na produção agropecuária. Porto Alegre/RS. (Circular: divulgação técnica, n. 6). Disponível: <https://www.agricultura.rs.gov.br/upload/arquivos/202205/12145418-comunicadoagrometeorologico-37-especial-estiagem-2022-ift-final.pdf>. Acesso em: Out. 2024.

CASTILHO, A. S. de; GERMANO, A. de O; BELING, F. A; PEDROLLO, M. C. R; SOTERIO, P. W; HARTZ, M. **Relatório Sistema de Alerta da Bacia do Rio Taquari**. CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. 2014. Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/24596/1/sistema%20de%20alerta_taquari_2014.pdf. Acesso em: Jun. 2024.

CLAPHAN, W. B. et al., 1999. **Human Activities in the drainage basin as sources of nonpoint pollutants**. In: THORNTON, J. A., RAST, W., HOLLAND, M. M., JOLAKAI, G., RYDING, S.-O. (Eds.), Assessment and Control of Nonpoint Source Pollution of Aquatic Ecosystems, Ed. UNESCO e Parthenon Publishing, Paris, França.

CLELAND, D. I. e IRELAND, L. R. **Gerência de Projetos**. Rio de Janeiro: Reichmann & Affonso Editores, (ISBN8587148567), 2002. PMI.

CNRH – CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Resolução nº 37, de 26 de março de 2004**. Diário Oficial da União, Brasília, 10 abril 2004. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1cUOr8mAjLHP-HDV9rAmvKRfdU1QhRI5/view>. Acesso em: Jun. 2024.

CNRH – CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Resolução nº 143, de 10 de julho de 2012**. Diário Oficial da União, Brasília, 26 fev. 2013. Disponível

em: www.ceivap.org.br/ligislacao/Resolucoes-CN-RH/Resolucao-CNRH%20145.pdf. Acesso em: Jun. 2024.

CNRH – CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Resolução nº 144, de 10 de julho de 2012**. Diário Oficial da União, Brasília, 26 fev. 2013. Disponível em: www.ceivap.org.br/ligislacao/Resolucoes-CN-RH/Resolucao-CNRH%20145.pdf. Acesso em: Jun. 2024.

CNRH - CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Resolução nº 145, de 12 de dezembro de 2012**. Diário Oficial da União, Brasília, 26 fev. 2013. Disponível em: www.ceivap.org.br/ligislacao/Resolucoes-CN-RH/Resolucao-CNRH%20145.pdf. Acesso em: Jun. 2024.

COLLISCHONN, W.; DORNELES, F. 2015. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. 2. ed. Porto Alegre: ABRH.

COMITÊ TAQUARI-ANTAS. **Composição**. 2014. Disponível em: <https://taquariantas.wixsite.com/comite/servicos>. Acesso em: Jun. 2024.

COSTA, Walter Duarte. **Geologia de barragens**. Oficina de Textos, 2016.
DE BONI, Luís Alberto & Costa, Rovílio. **Os Italianos no Rio Grande do Sul**. In: Cichero, Lorenzo (org.). Cinquantenario della Colonizzazione Italiana nel Rio Grande del Sud, 1875-1925. Edição fac-similar [De Boni, Luís Alberto & Costa, Rovílio (eds.)]. Posenato Arte & Cultura, 2000, vol. I, pp. i-xxii

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Mapa de domínios/subdomínios hidrogeológicos do Brasil**. 2005. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/10323>. Acesso em: Jun. 2024.

CPRM – COMPANHIA DE PESQUISAS E RECURSO MINERAIS. **Mapa geológico do Estado do Rio Grande do Sul**. Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral. Ministério de Minas e Energia. Serviço Geológico do Brasil. Escala 1:750.000. 2006.

CPRM – COMPANHIA DE PESQUISAS E RECURSO. **Mapa Hidrogeológico do Rio Grande do Sul**. Escala 1:750.000. 2014. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Estudos-Hidrologicos-e-Hidrogeologicos/Mapa-Hidrogeologico-do-Brasil-ao-Milionesimo-756.html>. Acesso em: Out. 2024.

Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem. **Rodovias Cadastradas No SRE – RS**. 2014. Disponível em: <http://www.geolivres.gov.br/menu.htm?menu=4>.

CPRM - COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS. **Sistema de Alerta Hidrológico da Bacia do rio Taquari**: Relatório Técnico de Operação no Período de Novembro de 2020 a Novembro de 2021. 2021. Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/22570/1/relatorio_SAH_bacia_riotaquari_2021.pdf. Acesso em Jun. 2024.

CRUZ, P T da. **100 barragens brasileiras**: casos históricos, materiais de construção, projeto. São Paulo: Oficina de Textos, 1996.

CRUZ, J. C; SILVEIRA, G. L. da. **Seleção Ambiental de Barragens: Análise de favorabilidade ambientais em escala de bacia hidrográfica.** Santa Maria, RS: Editora UFSM; Porto Alegre, RS: ABRHidro, 2019. 464 p.

CRUZ, P. T; MARTERÓN, B; FREITAS, M. **Barragens de enrocamento com face de concreto.** São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

D'AGUILA, Paulo Soares *et al.* **Avaliação da qualidade de água para abastecimento público do Município de Nova Iguaçu.** Cadernos de Saúde Pública, v. 16, p. 791-798, 2000.

DA SILVA, T. B. *et al.* **Correlações das classes pedológicas com características geotécnicas aplicadas ao uso e ocupação do solo.** Journal of Environmental Analysis and Progress, v. 5, n. 3, p. 346-358, 2020.

DE CAMARGO, Renato. **Proposta de zoneamento ambiental para o município de Flores da Cunha - RS.** 2013. Monografia de Licenciatura em Geografia. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí.

DICKSON, S. E.; SCHUSTER-WALLACE, C. J.; NEWTON, J. J. **Water Security Assessment Indicators: The Rural Context.** Water Resources Management, v. 30, n. 5, p. 1567–1604, 2016.

DRH/MAGNA. **Avaliação Quali-Quantitativa das Disponibilidades e Demandas de Água na Bacia Hidrográfica do Sistema Taquari-Antas, RS.** V.1, Memorial Descritivo, tomos I e II, 1997.

EASTMAN, J. R. **Manual do usuário - Exercícios tutoriais Idrisi for Windows, versão 2.0.** Tradução para o português, H. Hasenack e E. Weber. Porto Alegre, 1998. 240p.

EPA - ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Framework for ecological risk assessment.** From: Risk assessment forum. U. S. EPA. Washington, 1992.

ESTEVES, F. A.; MENEZES, C. F. S. **Papel da Água e da Limnologia na sociedade Moderna.** In: ESTEVES, F. A. Fundamentos de limnologia. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. p. 62-73.

FABER, Marcos. **A importância dos rios para as primeiras civilizações.** História ilustrada, v. 2, 2011.

FERNANDES, M. M. **Análise de risco de ruptura de barragens: Estudo de caso de seis barragens na ilha de Santiago em Cabo Verde - África.** 2020. Tese de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

FERREIRA, Mário De Oliveira Quinta. **Aplicação Da Geologia De Engenharia Ao Estudo De Barragens De Enrocamento.** 1991. Tese de Doutorado. Universidade de Coimbra (Portugal).

FILHO, Jaime.de A. G. **Desempenho de Obras Geotécnicas**. Recife: Editora Universitária UFPE, 2006.

FROSI, Viltalina Maria. MIORANZA, Ciro. **Imigração Italiana no Nordeste do Rio Grande do Sul**. Caxias do Sul: EDUCS, 2009.

FUNAI - FUNDAÇÃO NACIONAL DOS POVOS INDÍGENAS. **Terra Indígenas do Brasil**. 2021. Disponível em: http://mapas2.funai.gov.br/portal_mapas/pdf/brasil_indigena_10_2022.pdf. Acesso em: 16 out. 2024.

FUNASA – FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Cadernos temáticos saneamento básico: abastecimento de água potável**. 1. Ed. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2016a. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/documents/20182/300120/Abastecimento+de+%C3%81gua+Pot%C3%A1vel.pdf/c42e2752-7de2-4a0b-a751-fa352f1bdb3?version=1.0>. Acesso em: Jun. 2024.

GARCIA, A. M. **Sítio arqueológico do Pororó: um cerrito na mesoregião centro ocidental riograndense (Pinhal Grande)**. 2012. Dissertação (Mestrado Profissional em Patrimônio Cultural) – Centro de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/11008>. Acesso em: 16 Out. 2024.

GOMES, Carlos Francisco Simões; COSTA, Helder Gomes. **Proposta do uso da visão prospectiva no processo multicritério de decisão**. 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/264235115_TOMADA_DE_DECISAO_GERENCIAL_Enfoque_TOMADA_DE_DECISAO_GERENCIAL_Enfoque_Multicriterio. Acesso em: Jun. 2024.

GUERRA, A. J. T; CUNHA, S. B. **Impactos ambientais urbanos no Brasil**. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil, 2000.

GUIMARÃES, A. J. A.; CARVALHO, D. F. de; SILVA, L. D. B. da. **Saneamento básico**. Rio de Janeiro: UFRRJ, p. 1-3, 2007. Acesso em: Out. 2024.

GUSMÃO FILHO, J. A. **Solos: da formação geológica ao uso na engenharia**. Recife. Ed. Universitária da UFPE, 198p. 2002.

HALLMARK, D. E. **Presas pequeñas de concreto**. México: Limusa, 1976.
HATAMI, H. and Gleick. **Chronology of Conflict over Water in the Legends, Myths, and History of the Ancient Middle East**. Washington: Heldref Publications, 1994.

HASENACK, H.; WEBER, E. **Base Cartográfica Digital do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: UFRGS/Centro de Ecologia, laboratório de Geoprocessamento, 2010. Escala 1:50.000. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/labgeo/index.php/dados-espaciais/250-base-cartografica-vetorial-continua-do-rio-grande-do-sul-escala-1-50-000>. Acesso em: Out. 2024.

HAUSMAN, A. **Províncias Hidrogeológicas do Estado do Rio Grande do Sul, RS.** Estudos Tecnológicos: Acta Geológica Leopoldensia, Série Mapas. n° 2. p.1-127, 1995.

HELLER, L.; PADUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano.** Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.

IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE. **Avaliação de impacto ambiental:** agentes sociais, procedimentos e ferramentas. Brasília: IBAMA/DIRPED/DEDIC/DITEC, 1995. 134p.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades e Estados:** Flores da Cunha. 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rs/floresdacunha.html>. Acesso em: Jun. 2023.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Geologia 1:250.000.** 2018. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/geologia/15822-geologia-1-250-000.html>. Acesso em: Jun. 2024.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Geomorfologia 1:250.000.** 2018. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/geomorfologia/10870-geomorfologia.html>. Acesso em: Jun. 2024.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Perfil dos Municípios Brasileiros.** 2017. Disponível em: https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/media/com_mediaibge/arquivos/496bb4fbf305cca806aaa167aa4f6dc8.pdf. Acesso em: Jun. 2024.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Malha Municipal.** 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: Jun. 2024.

IBRAHIN, Francini Imene D.; IBRAHIN, Fábio J.; CANTUÁRIA, Eliane R. **Análise Ambiental - Gerenciamento de Resíduos e Tratamento de Efluentes.** [São Paulo]: SRV Editora LTDA, 2015. *E-book*. ISBN 9788536521497. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536521497/>. Acesso em: 17 jun. 2024.

ICOLD - INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. **Dam Foundations:** Geologic considerations. Investigation Methods. Treatment. Monitoring. Bulletin 129. Paris: International Commission On Large Dams, 2005.

ICOLD - INTERNATIONAL COMMISSION OF LARGE DAMS. **Dams & the world's water:** an educational book that explains how dams help to manage the world's water. Curitiba: CIGB/ICOLD/CBD, 2008.

ICOLD – INTERNATIONAL COMMISSION ON LARGE DAMS. **Selecting a dam site**. Bulletin 148. Paris: ICOLD, 2019.

INCRA - INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA. **Acompanhamento dos processos de regularização quilombola**. 2023. Disponível em: https://www.gov.br/incra/pt-br/assuntos/governanca-fundiaria/Acompanhamentodosprocessosderegularizapquilombola_30.06.2023.pdf. Acesso em: Out. 2024.

INEA. **Adequação ambiental de imóveis rurais**. 2012. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbnmnibpcajpcgclclefindmkaj/http://www.inea.rj.gov.br/cs/groups/public/documents/document/zwew/mdcw/~edisp/inea0070579.pdf>. Acesso em: Out. 2024.

ISA – INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL: **Água nas metrópoles, o risco de escassez**. Disponível em: <http://www.socioambiental.org/pt-br/blog/blog-doisa/agua-nas-metropoles-o-risco-da-escassez> Acesso em: Jun. 2024.

JANSEN, R.B. **Dams and public safety**. Minnesota- U.S. Department Of The Interior, 1983. 332 p. Digitalizado em 2009. Disponível em: <http://ussdams.com/ussdeducation/Media/dams-frombeginning.pdf>. Acesso em: Maio 2024.

JUNIOR, Luiz Prado Vieira; SALLES, Flávio Moreira. **A tecnologia do concreto aplicada ao projeto de barragens**. Melhores práticas de tecnologia do concreto. São Paulo: Concreto e Construções, p.15-23, 2011.

KICH, E. M.; MELATI, M.D.; MARCUZZO, F. F. N. **Estudo do regime hidrológico pluvial e fluvial na sub-bacia 86 visando a determinação do seu ano hidrológico**. 2015. XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2015.

LARENTIS, D. G. **Modelagem matemática da qualidade da água em grandes bacias: Sistema Taquari-Antas, RS**. 2004. 159f. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

LEITE, P. F. & KLEIN, R. M. 1990. **Vegetação**. In Geografia do Brasil: Região Sul. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, p.113-150.

LEVIS, Silvia Delattre. **Verificação da eficácia dos sistemas de vedação e drenagem em fundações de barragens de concreto**. 2006. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006. doi:10.11606/D.18.2006.tde-28032007-085131. Acesso em: Maio 2024.

LIMA, D. C.; BUENO, B. S.; FONTES, M. P. F. 1996. Utilização de levantamentos de solos em geotecnia. **O Solo nos grandes Domínios morfoclimáticos do Brasil e o Desenvolvimento Sustentado**, SBCS, UFV, DPS, pp. 703-721.

LIMA, W. P. **Princípios de manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba: ESALQ. USP, 1976.

LIMA, Valdeny Caroline de Vasconcelos. **Delimitação das Zonas de Autossalvamento da Mancha de Dano Potencial Associado à Barragem Bosque-IV no Município de Junqueiro/AL**. 2020. Disponível em: <http://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/6776>. Acesso em: Jan. 2025.

LOPES, J. E. G., SANTOS, R. C. P. **Capacidade de reservatórios**. 2002. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002. Acesso em: Jun. 2024.

MAFFRA, Marcelo Azevedo; DE SOUZA, Diego Cerveira. **Barragens para irrigação: Aspectos jurídicos e ambientais da sua construção, operação e remoção**. Revista do CNMP, n. 7, p. 146-166, 2018.

MARQUES FILHO, P. L., Geraldo, A. (1998). **Barragens e reservatórios**. In: A. M. dos S. Oliveira & S. N. A. de Brito (Ed.). Geologia de Engenharia. São Paulo: ABGE.

MARQUES J. L. S., RODOLFO R. C. **Critérios de projeto de barragens de concreto à gravidade: Uma visão de sustentabilidade**, UFPA, Curitiba, 2003.

MASSAD, F. **Obras de Terra: Curso Básico de Geotecnia**; São Paulo, Oficina de Textos, 2003.

MELATI, M. D. **Regressões simples e robusta na regionalização da vazão Q_{95} na Bacia Hidrográfica do Taquari-Antas**. Ciência e Natura, v. 38, p. 722-739, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5902/2179-460X19116>. Acesso: Out. 2024.

MELLO, S. S. **Na beira do rio tem uma cidade: urbanidade e valorização dos corpos d'água**. 2008. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

MINISTÉRIO DA ECONOMIA. **Manual de Análise Custo-Benefício para Investimentos em Infraestrutura Hídrica**. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/choque-de-investimento-privado/avaliacao-socioeconomica-de-custo-beneficio-1/manual-de-analise-socioeconomica-de-custo-beneficio-infra-hidrica.pdf>. Acesso: Out. 2024.

MOTA, Lúcio Tadeu. **As guerras dos índios Kaingang: A história épica dos índios Kaingang no Paraná (1769-1924)**. Maringá: Editora da Universidade Estadual de Maringá. 1994.

NOVOTNY, V., 2003. **Water Quality: Diffuse Pollution and Watershed Management**. Ed. John Wiley & Sons, Inc., NY, EUA. Operador Nacional do Sistema Elétrico. (2009). **Glossário de termos técnicos**. Disponível em: <<http://www.ons.org.br>>. Acesso em: Maio 2024.

OLIVEIRA, A. M. S.; MONTICELI, J. J. **Geologia de Engenharia e ambiental**. São Paulo: ABGE - Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2018. v. 1, 2 e 3.

OLIVEIRA, H. V. B. de; VAZ, L. F.; CARNEIRO, C. D. R. **Avaliação de Risco Geológico em Barragens**. Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, v.1, nº1, p. 125-143, 2013.

OLIVEIRA, F. R.; CARDOSO, F. B. F.; VARELLA NETO, P. L. **Panorama da gestão integrada água subterrânea/superficial no Brasil**. XV Encontro Nacional de Perfuradores de Poços e I Simpósio de Hidrogeologia do Sul-Sudeste, 2007.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Resolution adopted by the General Assembly: Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development (A/RES/70/1)**. 2015.

ONZI, Juliana Gonçalves; MASCARELLO, Germano Piroli; SEGATTO, Janei; BUENO, Paulo Fantin; DE VARGAS, Tiago. **Monitoramento pluvial na bacia hidrográfica Taquari-Antas**. 2014. II Congresso de Pesquisa e Extensão da FSG. Faculdade da Serra Gaúcha, Caxias do Sul, 2014.

PANAZZOLO, A. P; DA SILVA, C. T; VIEGAS, D; SARTORI, D. B; PILGER, J. D; BASSI, L; AURÉLIO, S. S; BAZZAN, T. **Caracterização, adequação e capacidade de uso do solo na bacia hidrográfica do Taquari-Antas - Estado do Rio Grande do Sul**. 2013. *In*: Simpósio brasileiro de recursos hídricos. Bento Gonçalves, 2013.

PARIZEK, R. R.; VOIGHT, B. **Remote sensing investigations for dam and reservoir construction in karst terranes**. *In*: INTERNATIONAL CONGRESS ON LARGE DAMS, 10., Montreal, 1970. v. 6, p. 538–546.

PAULO, Felipe Azevedo. **Avaliação do Funcionamento Hidráulico de Descarga de Fundo do Tipo Tubo Ranhurado em Barragens de Pequena Altura**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Curso de Engenharia Hídrica, Porto Alegre, 2019.

PEIXOTO, Paulo. **Os usos sociais dos rios**. A água como património: experiências de requalificação das cidades com água e das paisagens fluviais, p. 57-70, 2016.

PEREIRA, G. M. **Projeto de usinas hidrelétricas passo a passo**. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

PETRY, A.C.(2001). **Variação Espacial na Estrutura das Assembléias de Peixes da planície de inundação do Alto Rio Paraná, Brasil**. Programa de Pós Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais, Universidade Estadual de Maringá, Maringá-PR. 49 p.

PINTO, E. J. de A.; AZAMBUJA, A. M. S. de; FARIAS, J. A. M.; SALGUEIRO, J. P. de B.; PICKBRENNER, K. (Coords.). **Atlas pluviométrico do Brasil**: isoietas mensais, isoietas trimestrais, isoietas anuais, meses mais secos, meses mais chuvosos, trimestres mais secos, trimestres mais chuvosos. Brasília: CPRM, 1 DVD.

Escala 1.5:000.000. Sistema de Informação Geográfica-SIG - versão 2.0 - atualizada em novembro/2011; Programa Geologia do Brasil; Levantamento da Geodiversidade. Acesso em: Jun. 2024.

PIRES, Tayrone Henrique; MENDES, Valmir Vieira. **Dimensionamento de uma barragem para regularização de abastecimento na cidade de Entre Folhas - MG**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso - Faculdades Integradas de Caratinga, Caratinga, 2016. Disponível em: <https://dSPACE.doctum.edu.br/bitstream/123456789/596/1/tcc%20tayrone%20valmir.pdf>. Acesso em: Maio 2024.

PIRES, M.A F.; COTRIM, M.E B. **Modelagem Diagnóstica e Prognóstica da qualidade da água em áreas de captação**. PADCT/FINEP, 2000.

PORATH, Soraia Loechelt *et al.* **A paisagem de rios urbanos: A presença do rio Itajaí-Açu na cidade de Blumenau**. 2004.

PORTO, Monica F. A.; PORTO, Rubem La Laina. **Gestão de bacias hidrográficas**. Estud. av., São Paulo, v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10292/11938> Acesso em: Maio 2024.

PORTO, R. L. AZEVEDO, L. G. T de. **Sistemas de suporte a decisões aplicados a problemas de recursos hídricos**. In: PORTO, R. L. L. Técnicas quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos. Porto Alegre: Ed. UFRGS-ABRH, 1997. Cap. 2.

POSSAN, Edna. **Curso de segurança de barragens: Módulo I - Barragens: Aspectos Legais, Técnicos e Socioambientais**. ICBA, [200-]. 2016.

PREFEITURA MUNICIPAL DE FLORES DA CUNHA. **Plano Municipal de Saneamento Básico**. 2014. Disponível em: <https://www.floresdacunha.rs.gov.br/secretarias.php?id=8>. Acesso em: Jun. 2024.

PREFEITURA MUNICIPAL DE FLORES DA CUNHA. **Lei Complementar nº 149, de 26 de setembro de 2019**. Flores da Cunha, RS. 2019.

PREFEITURA MUNICIPAL DE FLORES DA CUNHA. **Lei Complementar nº 172, de 29 de junho de 2022**. Flores da Cunha, RS. 2022.

PREFEITURA MUNICIPAL DE FLORES DA CUNHA. **Lei Ordinária nº 2.765, de 07 de dezembro de 2009**. Cria o Parque Natural São Francisco de Assis FLORES DA CUNHA. Mapeamento georreferenciado do município de Flores da Cunha - CAD. 2023b.

PREFEITURA MUNICIPAL DE FLORES DA CUNHA. **Plano Municipal de Saneamento Básico: Diagnóstico**. 2024. Disponível em: <https://www.floresdacunha.rs.gov.br/UPLarquivos/10092024161119.pdf>. Acesso em: Out. 2024.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. Superintendências de Projetos e de Obras. **DP-H01 - Diretrizes de projeto para estudos hidrológicos**: Período de

Retorno. São Paulo: Prefeitura do Município de São Paulo, 1999. Disponível em: https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/infraestrutura/arquivos/SM%20SO%202018/DRENAGEM%20URBANA/dh_h01_diretrizes_de_projeto_para_estudos_hidrologicos_periodo_de_retorno.pdf. Acesso em: Out. 2024.

PROJETO RADAMBRASIL. 1986. **Folha SH. 22 Porto Alegre e parte das folhas SH. 21 Uruguaiana e SI. 22 Lagoa Mirim**. Rio de Janeiro, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 796p.

QSP – CENTRO DA QUALIDADE, SEGURANÇA E PRODUTIVIDADE. **A análise dos riscos segundo a norma AS/NZS 4360**. Disponível em: <http://www.qsp.com.br>. 1999.

RAMBO, B. 1956. **A fisionomia do Rio Grande do Sul**. 2ª Ed. Selbach, Porto Alegre.

RAMOS, J.M. MARCELINO, J., VISEU, T. **Curso de Segurança de Barragens**. Ilha de Santiago, LNEC, Portugal e LEC, Cabo Verde, Julho, 2010.

RANDALL, Alan (1987), **Resource Economics: An Economic Approach to Natural resource and Environmental Policy**, John Wiley & Son.

REBOUÇAS, A. **Groundwater in Brazil**. Episodes [s. l.], v. 11, n. 3, 1988.

REBOUÇAS, A. da C., BRAGA, B, e TUNDISI, J. G. (Orgs.) **Águas doces no Brasil – capital ecológico, uso e conservação**. São Paulo, Escrituras, 2002.

REGINATO, P.A.R. **Integração de Dados Geológicos para Prospecção de Aquíferos Fraturados em Trecho da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas (RS)**. 2003. 254 p. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e dos Materiais. Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2003.

REYNOSO, A. E. G. *et al.* **Rescate de ríos urbanos: propuestas conceptuales y metodológicas para la restauración y rehabilitación de ríos**. México: Universidad Nacional Autónoma de México, 2010. 109p.

RICHTER, B. D.; DAVISON, R.; SEARS, W.; THEL-NEWTON, L. **Ecologically sustainable reservoir operation: incoming challenges and the promise of adaptive design**. *Fisheries*, v. 21, n. 7, p. 6–17, 1996.

RICHTER, B. D. *et al.* **Rethinking environmental flows: from allocations and reserves to sustainability boundaries**. *River Research and Applications*, v. 25, p. 1-12, 2009. DOI: 10.1002/rra.1320.

RIO GRANDE DO SUL. **Lei complementar nº 15.245, de 28 de dezembro de 2018**. Porto Alegre, RS: Governo do Estado do Rio Grande do Sul. 2018. Disponível em: http://ww3.al.rs.gov.br/legis/M010/M0100099.asp?Hid_Tipo=TEXT0&Hid_TodasNormas=65179&hTexto=&Hid_IDNorma=65179. Acesso em: 15 out. 2024.

RIO GRANDE DO SUL. **Lei nº 15.434, de 9 de janeiro de 2020**. 2020. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=388665>. Acesso em: Jun. 2024.

RIO GRANDE DO SUL. **Lei nº 10.350, de 30 de dezembro de 1994**. 1994. Disponível em: <https://www.al.rs.gov.br/filerepository/replegis/arquivos/10.350.pdf>. Acesso em: Maio 2024.

RIO GRANDE DO SUL. **Decreto Estadual nº 37.033, de 21 de novembro de 1996**. 1996. Disponível em: <https://sincage.sefaz.rs.gov.br/documento/4804cdb8-3285-40a6-b286-883ebba52c>. Acesso em: Maio 2024.

RIO GRANDE DO SUL. **Decreto Estadual nº 54.165, de 26 de julho de 2018**. 2018. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=365533#:~:text=Alterar%20o%20Decreto%20n%C2%BA%2052.931,acompanhamento%20da%20Seguran%C3%A7a%20de%20barragens>. Acesso em: Jun. 2024.

RIO GRANDE DO SUL. **Decreto Estadual nº 54.931, de 19 de dezembro de 2019**. 2019. Disponível em: <https://www.brigadamilitar.rs.gov.br/upload/arquivos/202203/24173703-dec-54-931.pdf>. Acesso em: Jun. 2024.

RIO GRANDE DO SUL. CRH - Conselho de Recursos Hídricos do Rio Grande do Sul. **Resolução CRH nº 141, de 21 de março de 2014**. 2014. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201708/22164454-resolucao-crh-141-2014-institui-plano-estadual-recursos-hidricos-estado-rs-28-03.pdf>. Acesso em: Jun. 2024.

RIO GRANDE DO SUL. FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler. **Diagnóstico Ambiental da Bacia Taquari-Antas / RS: Diretrizes regionais para o licenciamento ambiental das hidrelétricas**. 2001. Disponível em: <https://ww3.fepam.rs.gov.br/biblioteca/Taquari-Antas/pag1.html>. Acesso em: Maio 2024.

RIO GRANDE DO SUL. FEPAM - Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler. **Caracterização da Bacia Hidrográfica Taquari-Antas**. 2018. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20180830142314/http://www.fepam.rs.gov.br/biblioteca/Taquari-Antas/pag17.html>. Acesso em: Jun. 2024.

RIO GRANDE DO SUL. SEMA - Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Infraestrutura (Rio Grande do Sul). **Relatório Anual sobre a Situação dos Recursos Hídricos no Estado do Rio Grande do Sul 2021**. Porto Alegre: SEMA, 2022. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/relatorio-rh>. Acesso em: Jun. 2024.

ROSA, Carlos Augusto de Proença. **História da ciência: da antiguidade ao renascimento científico**. *In*: História da ciência: da antiguidade ao renascimento científico. 2012. p. 469-469.

ROSSATO, M. S. **Os Climas do Rio Grande do Sul: Variabilidade, Tendências e Tipologias**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – URG/PPGEA. 2011. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/32620/000782660.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: Out. 2024.

SABANÉS, L. **Manejo sócio-ambiental de recursos naturais e políticas públicas: um estudo comparativo dos projetos “Paraná Rural e Microbacias”**. 2002. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Rural) – Faculdade de Ciências Econômicas, UFRGS, Porto Alegre, 2002.

SANDRONI, Sandro Salvador; GUIDICINI, Guido. **Barragens de terra e enrocamento**. Oficina de Textos. 2012.

SAYÃO, A., 2009, **Notas de aula da disciplina de Barragens de Terra e Enrocamento**. Curso de Mestrado da PUC-RJ, Rio de Janeiro.

SEMA - SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE. **Relatório Anual sobre a Situação dos Recursos Hídricos no Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: SEMA, 2012. 169 p.

SEMA - SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE. **Nota Técnica nº 001/2022/DIPLA/DRHS**. Porto Alegre: SEMA, 2022. 23 p. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNmM2Y2EzOGMtMzIzYy00ZWJlLWJjZTYtOBY5Mzc4ZDRjMjlliliwidCI6IjE1ZGNkOTA5LThkYzAtNDZBIOS1hMWU1LWNIY2lwNTNjZGQxYSJ9>. Acesso em: Jun. 2024.

SILVA, M. J. R. **Comportamento geomecânico de solos colapsíveis e expansivos em Petrolina: cartas de susceptibilidade**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Pernambuco. 110p. 2003.

SIQUEIRA, R. M. B; HENRY-SILVA, G. G. **A bacia hidrográfica como unidade de estudo e o funcionamento dos ecossistemas fluviais**. Boletim da Associação Brasileira de Limnologia. 39(2). 2011.

SOUZA, M. M. de. **Estudo para o Projeto Geotécnico da Barragem de Alto Irani – SC**. 2013. 139 p. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Engenharia Civil da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2013.

TENNANT, D. L. **Instream flow regimens for fish, wildlife, recreation and related environmental resources**. *Fisheries*, v. 1, n. 4, p. 6–10, 1976.

TEODORO, Valter Luiz Iost *et al.* **O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local**. Revista Brasileira Multidisciplinar, v. 11, n. 1, p. 137-156, 2007.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L.; BARROS, M.T.L. **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: ABRH, 1995. 428p.

TUCCI, C.E. M.; HESPANHOL, I.; NETTO, O. de M.C. **Gestão da água no Brasil**. Brasília: UNESCO, 2001. 178p.

TUCCI, C. E. M. Regionalização de Vazões. *In*: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2ª Ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2001.

TONDESKY, A., 1996. **Landuse-based Nonpoint Source Pollution**. A Threat to Water Resources in Developing Countries. *Water Science and Technology*, vol. 33, n. 4-5, pg. 53-61.

TONELLO, K.C.; DIAS, H.C.T.; SOUZA, A.L.; RIBEIRO, C.A.A.S.; LEITE, F.P. **Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães - MG**. *Revista Árvore*, Viçosa, v.30, n.5, 2006.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Abastecimento de água**. tsutiya.pdf. [S. l.: s. n.], 2006. Acesso em Out. 2024.

UFSM/MAPA - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA / MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Inventário de recursos hídricos e de possíveis locais de barramentos para fins de irrigação na parte norte do Rio Grande do Sul**. Santa Maria: Termo de Cooperação MAPA-UFSM nº 001/2002. Santa Maria, 2002.

UNICEF/OMS. **Progress on household drinking water, sanitation and hygiene, 2000- 2020: Five years into the SDGs**. 2021.

UNITED STATES OF AMERICA. Department of Interior. Bureau of Reclamation. **Desing of Small Dams**. Washington. 1960.

VIEIRA, E. F. 1984. **Rio Grande do Sul: geografia física e vegetação**. Editora Sagra, Porto Alegre, 184p.

VIEIRA, J.M.P.; MORAIS, C.M. **Planos de segurança da água para consumo humano em sistemas públicos de abastecimento**. Guia Técnico nº 7, Instituto Regulador de águas e resíduos, 2005. 161 p. ISBN 972-99354-5-9.

VOGEL, R. M.; FENNESSEY, N. M. **Flow-duration curves**. I: new interpretation and confidence intervals. *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 120, n. 4, p. 485–504, 1994.

VON SPERLING, Marcos, 1995. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias**. Ed. SEGRAC, v.1, Belo Horizonte, MG.

PACIFIC INSTITUTE. **Water Conflict Chronology**. 2024. Disponível em: <https://www.worldwater.org/conflict/map/>. Acesso em: 17 maio 2024.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for drinking-water quality**. Geneva: WHO. Fourth edition. 2011.

ZALÁN, P. V.; WOLF, S.; CONCEIÇÃO, J. C. L.; ASTOLFI, A. M.; VIEIRA, I. S.; APPI, V. T.; ZANOTTO O. A.; MARQUES A. **Tectonics and Sedimentation of**

Paraná Basin. In: INTERNATIONAL GONDWANA SYMPOSIUM, 7., 1991. Proceedings..., Tasmania, Australia: [s.n.], 1991.

ZUCHETTE, V. L. **Geotecnia Ambiental.** Elsevier, 1ª Ed. 399 p. Rio de Janeiro. 2015.