



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
HÍDRICA**

**Diagnóstico do Risco à Segurança Hídrica da Água Bruta da
Represa de Chapéu D'Uvas para o Abastecimento Humano de
Água da cidade de Juiz de Fora - MG**

Tamiris Aparecida de Almeida

Itajubá, 2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
HÍDRICA

Tamiris Aparecida de Almeida

**Diagnóstico do Risco à Segurança Hídrica da Água Bruta da
Represa de Chapéu D'Uvas para o Abastecimento Humano de
Água da cidade de Juiz de Fora - MG**

Dissertação submetida ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Hídrica como parte dos requisitos para obtenção do Título de **Mestre em Engenharia Hídrica**.

Área de Concentração: Gestão de Sistemas Hídricos

Linha de Pesquisa: Gestão de Recursos Hídricos

Orientadora: Prof.^a Ana Paula Moni da Silva

Coorientadora: Prof.^a Maria Rita Raimundo de Almeida

Itajubá, 2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA HÍDRICA

Tamiris Aparecida de Almeida

**Diagnóstico do Risco à Segurança Hídrica da Água Bruta da Represa de
Chapéu D'Uvas para o Abastecimento Humano de Água da cidade de Juiz
de Fora - MG**

Dissertação aprovada pela banca examinadora em 25 de maio
de 2023, conferindo a autora o título de **Mestre em
Engenharia Hídrica**.

Banca Examinadora:

Prof.^a Dr.^a. Ana Paula Moni da Silva (Orientadora)
Universidade Federal de Itajubá

Prof.^a Dr.^a. Maria Rita Raimundo e Almeida (Coorientadora)
Universidade Federal de Itajubá

Prof. Dr. Benedito Cláudio da Silva
Universidade Federal de Itajubá

Prof. Dr. Pedro José de Oliveira Machado
Universidade Federal de Juiz de Fora

Itajubá, 2023

DEDICATÓRIA

Dedico essa pesquisa a Deus, meu Pai, que muito me transformou durante essa jornada do mestrado e vem trocando as minhas vestes e me revestindo de uma nova mulher.

“Deem ao Senhor a honra que Ele merece; curvem-se diante do Senhor, o Santo Deus, quando Ele aparecer. A voz do Senhor é ouvida sobre as águas; o glorioso Deus troveja, e sobre os mares se ouve a sua voz. A voz do Senhor é cheia de poder e majestade (Salmo 29: 2-4).”

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, meu Pai, pela graça concedida de fazer esse mestrado, para a honra e glória Dele.

Agradeço aos meus pais, José e Vilma, por terem me dado a vida e por me apoiarem nos meus próprios sonhos. Agradeço minha irmã, Kamila, e a Ana Laura pela presença e carinho comigo nesse período.

À minha orientadora, Ana Moni, e coorientadora, Maria Rita Raimundo e Almeida, por terem me dado a liberdade de realizar essa pesquisa, por tantas trocas de conhecimento e ensinamentos e pela dedicação em me corrigir e me ensinar.

À Professora Márcia Vianna, coordenadora da Pós Graduação em Engenharia Hídrica, pela dedicação, comunicação e empenho na coordenação e qualidade deste curso na UNIFEI.

Ao professor Pedro Machado, pelo apoio, incentivo e amizade desenvolvidas nessa pesquisa e por ter sido uma “porta” de entrada para um novo caminho, que vem mostrando para onde quero seguir, através da minha inclusão no grupo de pesquisadores do Grupo de Trabalho (GT Concha-02) do Comitê de Bacia do rio Preto e Paraibuna.

À Cesama, através do Diretor Presidente, Júlio Cesar Teixeira, do Coordenador de Projetos, Fabiano Tosseti Leal, ao Diretor de Desenvolvimento de Expansão, Marcelo Melo do Amaral, ao Assessor de Desenvolvimento de Expansão, Luis Fernando Cuco e por fim ao Assessor de Barragens e Meio Ambiente, Luis Eduardo do Amaral pelo apoio no fornecimento de dados sobre a barragem de Chapéu D’Uvas, qualidade da água no ponto de captação e pela visita técnica na barragem.

Ao meu amigo Daniel Santos, que não hesitou em me ajudar a compreender o processo de pesquisa, elaboração de artigos e foi plantando sementes dentro de mim para a academia.

À todas as pessoas próximas de mim, que de alguma forma, estiveram presentes e me incentivaram nessa jornada, muito obrigada.

RESUMO

O acesso a água potável tem se tornado complexo devido às mudanças climáticas, aumento da população e das atividades econômicas, da poluição das águas e pelas perdas da biodiversidade. A represa de Chapéu D'Uvas é um importante manancial de abastecimento humano de água da cidade de Juiz de Fora/MG. Todavia, este manancial encontra-se localizado geograficamente em outros municípios. A bacia hidrográfica e a represa de Chapéu D'Uvas vêm sofrendo impactos ambientais que podem comprometer a segurança hídrica no que se refere a qualidade e quantidade suficientes de água para atender as necessidades de abastecimento da cidade de Juiz de Fora. Esse trabalho teve por objetivo diagnosticar o risco à segurança hídrica da água bruta da represa por meio de uma análise comparativa entre dois cenários, o ano de 2014 e o ano de 2021. Foi feita uma avaliação da situação dos estressores hídricos de uso e ocupação do solo, demanda para abastecimento, qualidade da água e eventos hidrológicos extremos nos respectivos anos investigados. Em seguida, foi mensurado o risco à segurança hídrica, por meio do método *Failure Model and Effect Analysis* (FMEA) com o cálculo da severidade, ocorrência e detectabilidade dos impactos de cada estressor hídrico de qualidade e quantidade de água. Posteriormente, o risco à segurança hídrica foi identificado com a conjugação das propriedades dos estressores hídricos. Os resultados indicaram que há riscos sobre a segurança hídrica inaceitáveis referentes aos estressores hídricos de uso e ocupação do solo e qualidade da água na comparação entre os anos de 2014 e 2021, que impactam diretamente a quantidade e qualidade da água do reservatório de abastecimento, os quais necessitam de prioridades de ações de políticas e gestão da segurança hídrica para garantia do abastecimento humano de água para a cidade de Juiz de Fora.

Palavras chave: Estressores Hídricos, Quantidade e Qualidade de Água, FMEA, Gestão e Gerenciamento de Riscos.

ABSTRACT

Access to clean water has become complex due to climate change, increased population and economic activities, water pollution and loss of biodiversity. The Chapéu D'Uvas reservoir is an important source of human water supply in the city of Juiz de Fora/MG. However, this reservoir is geographically located in other municipalities. The hydrographic basin and the Chapéu D'Uvas reservoir have been suffering environmental impacts that may compromise water security in terms of sufficient quality and quantity of water to meet the supply needs of the city of Juiz de Fora. This work aimed to diagnose the risk to water security of raw water from the reservoir through a comparative analysis between two scenarios, the year 2014 and the year 2021. An assessment was made of the situation of water stressors related to land use and occupation, supply demand, water quality and extreme hydrological events in the respective investigated years. Then, the risk to water security was measured using the Failure Model and Effect Analysis (FMEA) method, with the calculation of the severity, occurrence and detectability of the impacts of each water stressor of quality and quantity of water. Subsequently, the risk to water security was identified with the combination of properties of water stressors. The results indicated that there are unacceptable risks on water security related to water stressors of land use and occupation and water quality in the comparison between the years 2014 and 2021, which directly impact the quantity and quality of water in the water supply reservoir, which require priorities of policy actions and management of water security to ensure the human water supply to the city of Juiz de Fora.

Keywords: Water Stressors, Water Quantity and Quality, FMEA, Risk Management and Management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ações para obtenção da Segurança Hídrica.....	25
Figura 2: Estresse hídrico no mundo	27
Figura 3: Estrutura da gestão de riscos	33
Figura 4: Etapas da avaliação de riscos	34
Figura 5: Fluxograma de Gestão Territorial Ambiental	41
Figura 6: Representação do volume morto e do NA_{min} do reservatório	43
Figura 7: Representação dos níveis e volumes de água característico de um reservatório	44
Figura 8: Exemplo de curva guia parametrizada	45
Figura 9: Curva-guia de gestão de reservatórios de água.....	46
Figura 10: Principais entradas e saídas de água e fatores intervenientes em reservatórios.....	48
Figura 11: Mapa das bacias hidrográficas dos mananciais de abastecimento de Juiz de Fora – MG.....	50
Figura 12: Sistema de abastecimento de água da cidade de Juiz de Fora	51
Figura 13: Representatividade das vazões outorgadas dos mananciais de abastecimento	52
Figura 14: Bacia hidrográfica dos rios Preto e Paraibuna	54
Figura 15: Localização político administrativa da BCRCD.....	56
Figura 16: Rede de drenagem e unidades hidrográficas da BCRCD	60
Figura 17: Planta da barragem de Chapéu D’Uvas	63
Figura 18: Localização dos pontos de coleta da campanha 2016-2017 na BCRCD.....	65
Figura 19: Mapeamento das unidades pedológicas da BCRCD.....	69
Figura 20: Fluxograma das etapas empregadas no trabalho.....	75
Figura 21: Fluxograma metodológico de definição do estressor hídrico uso e ocupação do solo para os anos de 2015 e 2021.....	82
Figura 22: Localização das estações da ANA.	88
Figura 23: Gráfico do nível d’água na represa de Chapéu D’Uvas	91
Figura 24: Uso e ocupação do solo em 2015 e 2021	100
Figura 25: Gráfico comparativo das mudanças de uso e ocupação do solo entre 2015 e 2021	101
Figura 26: Área de Silvicultura no município de Santos Dumont/MG entre 2014 e 2021	102
Figura 27: Área de Silvicultura no município de Ewbank da Câmara/MG entre 2014 e 2021	103

Figura 28: Área de Silvicultura no município de Antônio Carlos/MG entre 2014 e 2021.....	103
Figura 29: Usos e Ocupação do Solo por Unidade Hidrográfica	105
Figura 30: Localização dos usos insignificantes e da outorga da Cesama na BCRCO.....	111
Figura 31: Série histórica das medições cotas NA da água do reservatório de Chapéu D'Uvas entre 2014 e 2021	113
Figura 32: Série histórica das medições cotas NA da água do reservatório de Chapéu D'Uvas entre 2003 e 2014	114
Figura 33: Percentual volume acumulado da represa de Chapéu D'Uvas no período de 2003 à 2021	115
Figura 34: Ponto de monitoramento de qualidade da água da Cesama.	117
Figura 35: Monitoramento do pH no ponto de captação de água da represa de Chapéu D'Uvas	118
Figura 36: Monitoramento do OD no ponto de captação de água da represa de Chapéu D'Uvas	119
Figura 37: Monitoramento da DBO no ponto de captação de água da represa de Chapéu D'Uvas	120
Figura 38: Monitoramento do Fósforo Total no ponto de captação de água da represa de Chapéu D'Uvas.....	121
Figura 39: Monitoramento da turbidez no ponto de captação de água da represa de Chapéu D'Uvas.....	122
Figura 40: Monitoramento de E. coli no ponto de captação de água da represa de Chapéu D'Uvas.....	122
Figura 41: ICE para os dados referentes ao ponto de monitoramento de qualidade da água da represa de Chapéu D'Uvas entre os anos de 2014 e 2021	124
Figura 42: Normais Climatológicas da Estação ECP nº 83.692.....	125
Figura 43: Precipitação anual acumulada no período de 2003 a 2021 da Estação Pluviométrica da ANA nº 2143020.	126
Figura 44: Precipitação acumulada no período chuvoso de outubro a março da Estação Pluviométrica da ANA nº 2143020.....	127
Figura 45: Regime de chuvas durante o ano hidrológico (setembro-agosto) da série histórica da Estação Pluviométrica da ANA nº 2143020.	128
Figura 46: Cotas do NA da represa Chapéu D'Uvas em 2020.	128

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Fontes de perigo e riscos associados à questão da água.....	24
Tabela 2: Componentes do Programa de Segurança Hídrica	25
Tabela 3: Critérios de classificação da severidade do impacto	38
Tabela 4: Critério de classificação da detectabilidade do impacto.....	38
Tabela 5: Critério de classificação da ocorrência do impacto	38
Tabela 6: Cenários de gestão relacionados à seca em reservatórios.....	47
Tabela 7: Cenários de seca do Sistema Cantareira e ações de gestão	47
Tabela 8: Dados de outorgas concedidas à Cesama para abastecimento de água da cidade de Juiz de Fora.....	52
Tabela 9: Status dos municípios da BCRCO sobre planos diretores e de saneamento	55
Tabela 10: Diretrizes propostas pelo PIRH – PS1.....	57
Tabela 11: Agendas do PDRH-PS1 que podem ser direcionadas à segurança hídrica	58
Tabela 12: Descrição das unidades hidrográficas da BCRCO	59
Tabela 13: Dados sobre as características do Projeto da Barragem de Chapéu D’Uvas.....	61
Tabela 14: Características técnicas e operacionais da barragem de Chapéu D’Uvas	62
Tabela 15: Cotas e volumes de operação da barragem de Chapéu D’Uvas pela Cesama	63
Tabela 16: Comparação das medianas dos parâmetros de qualidade da água por conjunto de dados.....	66
Tabela 17: Caracterização das unidades de mapeamento pedológico.....	70
Tabela 18: Estressores hídricos usados neste trabalho e suas características.....	77
Tabela 19: Valores de CN para áreas rurais	81
Tabela 20: Padrões de Qualidade da Água para Enquadramento conforme DN COPAM nº08/2022.....	85
Tabela 21: Classes do Índice de Conformidade ao Enquadramento	86
Tabela 22: Graus de severidade do estressor uso e ocupação do solo.....	90
Tabela 23: Graus de severidade do estressor demanda de água	91
Tabela 24: Graus de severidade do estressor qualidade da água.....	91
Tabela 25: Graus de severidade do estressor eventos hidrológicos extremos.....	92
Tabela 26: Propriedade dos estressores hídricos: Critério do Grau de Severidade do impacto.....	92
Tabela 27: Faixa de graus de severidade do impacto dos estressores hídricos	94
Tabela 28: Critério do Grau da Ocorrência do Estressor.....	94

Tabela 29: Graus de ocorrência dos estressores hídricos	95
Tabela 30: Critério do Grau de Detectabilidade do Estressor	95
Tabela 31: Graus de detectabilidade dos estressores.....	96
Tabela 32: Pesos atribuídos as propriedades dos estressores	96
Tabela 33: Grupos de risco.....	97
Tabela 34: Medidas de risco possíveis	97
Tabela 35: Uso e ocupação do solo na BCRCDD em 2015 e 2021	101
Tabela 36: Determinação das áreas de uso e ocupação do solo e da porcentagem de alterações entre 2015 e 2021 por unidade hidrográfica da BCRCDD	106
Tabela 37: Cálculo CN da BCRCDD no ano de 2015	107
Tabela 38: Cálculo CN da BCRCDD no ano de 2021	108
Tabela 39: Cenário do estressor hídrico uso e ocupação do solo em 2014/2015 e 2021 na BCRCDD.....	108
Tabela 40: Relação de usos insignificantes de água cadastrados na BCRCDD.....	109
Tabela 41: Outorga de água concedida na represa Chapéu D'Uvas	109
Tabela 42: Cenário do estressor hídrico demanda de água de 2014 a 2021 na represa de Chapéu D'Uvas.....	116
Tabela 43: Resultado do ICE no ponto de monitoramento de água da represa de Chapéu D'Uvas	123
Tabela 44: Cenário do estressor hídrico poluentes ordinários em 2014 e 2021 na represa Chapéu D'Uvas.....	124
Tabela 45: Cenário do estressor eventos hidrológicos extremos em 2014 e 2021 na represa de Chapéu D'Uvas	129
Tabela 46: Resumo dos resultados do grau de severidade do impacto de cada estressor hídrico	131
Tabela 47: Determinação da ocorrência de cada estressor hídrico.....	132
Tabela 48: Determinação da detectabilidade de cada estressor.....	133
Tabela 49: Medida do risco à segurança hídrica em 2014	134
Tabela 50: Medida do risco a segurança hídrica em 2021	134

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APP – Área de Preservação Permanente

ANA – Agência Nacional de Água e Saneamento Básico

BCRCD – Bacia de Contribuição da Represa de Chapéu D’Uvas

BD – Margem direita

BE – Margem esquerda

CERH-MG – Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais

CESAMA – Companhia de Saneamento Municipal de Juiz de Fora

CETEC – Centro Tecnológico de Lavras

CO₂ – Dióxido de Carbono

COPAM – Conselho de Política Ambiental de Minas Gerais

COPASA – Companhia de Saneamento de Minas Gerais

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

CBERS 4A – Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres

CBH – Comitê Bacia Hidrográfica

CCME - *Canadian Council of Ministers of the Environment*

CN – *Curve Number*

DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DNOS - Departamento Nacional de Obras de Saneamento

DN – Deliberação Normativa

E. Coli – Escherichia Coli

ECP – Estado de Calamidade Pública

EPA – *Environmental Protection Agency*

ETA – Estação de Tratamento de Água

ETE – Estação de Tratamento de Efluentes

EUA – Estados Unidos da América

FEAM – Fundação Estadual de Meio Ambiente

FMEA – *Failure Model and Effect Analysis*

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia Estatística

ICE – Índice de Conformidade ao Enquadramento

IDE - SISEMA – Infraestrutura de Dados Espaciais

IFET – Instituto Federal de Educação Tecnológica
IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas
IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*
IQA – Índice de Qualidade da Água
ISO – *International Organization for Standardization*
LANDSAT – *Land Remote Sensing Satellite*
NA – Nível de água
OD – Oxigênio Dissolvido
OECD – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OMS – Organização Mundial da Saúde
ONU – Organização das Nações Unidas
PNAD – Pesquisa Nacional por Amostragem por Domicílio
PNSH – Plano Nacional de Segurança Hídrica
PMSH-MG – Plano Mineiro de Segurança Hídrica
PSH – Programa de Segurança Hídrica Nacional
PIRH-PS – Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul
PDRH-PS1 – Plano Diretor da Bacia Hidrográfica dos Rios Preto e Paraíba
P – Fósforo Total
pH – Potencial Hidrogeniônico
SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SE – Situação de Emergência
SEMAD – Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
SIGA-CEIVAP – Sistema de Informações Geográficas e Geoambientais da Bacia do Rio Paraíba do Sul
UFJF – Universidade Federal de Juiz de Fora
UFLA – Universidade Federal de Lavras
UFV – Universidade Federal de Viçosa
UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
1.1 Objetivos.....	21
1.1.1 Objetivo Geral	21
1.1.2 Objetivos Específicos	21
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
2.1 Abordagens Conceituais da Segurança Hídrica e seu Gerenciamento	22
2.2 Fatores de Estresse Hídrico da Água Bruta	26
2.3 Conceito de Risco	31
2.4 Análise do Risco à Segurança Hídrica por meio do Método FMEA.....	36
2.5 Gestão Ambiental de Bacias Hidrográficas e Gerenciamento de Recursos Hídricos	39
2.6 Gestão de Reservatórios de Acumulação de Água	42
2.6.1 Nível D'Água Mínimo Operacional (NA_{min})	42
2.6.2 Volume Morto	43
2.6.3 Nível D'Água Máximo Operacional (NA_{max})	43
2.6.4 Volume Útil.....	43
2.6.5 Volume de Espera.....	44
2.6.6 Nível D'Água Máximo Maximorum (NA_{maxmax}) e Crista do Barramento	44
2.6.7 Operação de Reservatórios de Acumulação de Água.....	45
3 CARACTERIZAÇÃO DO CONTEXTO DO ESTUDO	49
3.1 Contexto do Abastecimento de Água de Juiz de Fora – MG.....	49
3.2 Localização da BCRCD	53
3.3 Hidrografia da BCRCD	58
3.4 Características da Barragem da Represa de Chapéu D'Uvas	61
3.5 Histórico sobre a Qualidade da Água da Represa de Chapéu D'Uvas	64
3.6 Caracterização Pedológica da BCRCD.....	67

3.7	Conflitos da BCRC	70
4.	METODOLOGIA	74
4.1	Identificação da Situação dos Estressores Hídricos	76
4.1.1	Uso e Ocupação do Solo	77
4.1.2	Demanda de Água para Abastecimento	82
4.1.3	Poluentes Ordinários	83
4.1.4	Eventos Hidrológicos Extremos	87
4.2	Aplicação do Método FMEA para mensurar o Risco à Segurança Hídrica	89
4.2.1	Escala de Graduação	89
4.2.1.1	Severidade (S) do Impacto dos Estressores	89
4.2.1.2	Ocorrência (O) do Impacto dos Estressores Hídricos	94
4.2.1.3	Detectabilidade (D) do Impacto dos Estressores Hídricos	95
4.2.2	Medida do Risco à Segurança Hídrica	96
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	99
5.1	Situação do Estressor Uso e Ocupação do Solo	99
5.1.1	Mapeamento do Uso e Ocupação do Solo em 2015 e em 2021	99
5.1.2	Cálculo do <i>Curve Number</i> (CN)	107
5.1.3	Situação do Estressor Hídrico Uso e Ocupação do Solo em 2014/2015 e em 2021	108
5.2	Estressor Demanda de Água para Abastecimento	108
5.2.1	Usuários de Água na BCRC	108
5.2.1.1	Situação da Oferta de Água no Reservatório de Chapéu D’Uvas	110
5.2.1.2	Situação do Estressor Hídrico Demanda de Água	116
5.3	Estressor Poluentes Ordinários (Qualidade da Água)	116
5.3.1	Avaliação da Qualidade da Água da Represa Chapéu D’Uvas	116
5.3.2	Resultados do ICE	123
5.3.3	Situação do Estressor Hídrico Poluentes Ordinários em 2014 e 2021	124

5.4	Estressor Eventos Hidrológicos Extremos.....	125
5.4.1	Comportamento da Precipitação.....	125
5.4.2	Situação do Estressor Hídrico Eventos Hidrológicos Extremos em 2014 a 2021 129	
5.5	Mensuração do Risco à Segurança Hídrica por meio do Método FMEA	129
5.5.1	Resultado da avaliação da severidade, ocorrência e detectabilidade.....	129
5.5.2	Resultado do Risco à Segurança Hídrica em 2014 e 2021	133
6.	CONCLUSÃO.....	138
5.	REFERÊNCIAS	140
	ANEXO I – Análises da Água da Represa Chapéu D’Uvas no Ponto de Monitoramento da CESAMA	150
	Análises da Água da Represa Chapéu D’Uvas no Ponto de Monitoramento da Cesama	151
	ANEXO II – Usos Insignificantes de água na BCRCD	155
	ANEXO III – Série Histórica de Chuvas na Estação Pluviométrica da ANA n° 2143020....	158
	APÊNDICE I – Metodologia Mapeamento do Uso e Ocupação do Solo de 2015 e 2021.....	162

1. INTRODUÇÃO

Para a Organização das Nações Unidas (ONU, 2013), o conceito de segurança hídrica é definido como sendo a capacidade de uma população ter acesso sustentável à água em quantidade e qualidade suficientes para a manutenção dos meios de subsistência, bem estar humano e o desenvolvimento socioeconômico. O conceito abrange também garantir a proteção contra a poluição de origem hídrica, preservar os ecossistemas e a sustentação de um clima de paz e estabilidade política.

A evolução das preocupações com os recursos hídricos caminha pela segurança hídrica, já que as atividades socioeconômicas e socioambientais precisam de disponibilidade hídrica para os usos múltiplos da água e para a manutenção dos ecossistemas ambientais (GUNDA et al., 2019). Nesse âmbito, estão compreendidos também os impactos oriundos de eventos hidrológicos extremos que estão atingindo todo o globo terrestre, ocasionando eventos de seca e inundações que colocam em risco à segurança hídrica para as diversas necessidades globais de água (GUNDA et al., 2019; IPCC, 2022; LOFTUS, 2015).

Para Budds (2020), a política e a governança são imprescindíveis na tomada de decisão para garantir a segurança hídrica, e Gunda et al. (2019) afirmam que as organizações internacionais, os governos e os pesquisadores vêm reconhecendo a segurança hídrica por uma perspectiva multidisciplinar, na qual deve estar incluída questões relacionadas à governança, economia, aceitação social e universalização do acesso a água.

Estima-se que 2 bilhões de pessoas no mundo vivem em áreas sujeitas a algum estresse hídrico, 3,4 bilhões de pessoas não têm acesso seguro ao saneamento e avalia-se que o déficit de água chegará a 40% em 2030 em todo o planeta (WWAP, 2021). Essa situação alarmante ainda tem piorado devido ao período pandêmico da COVID – 19, com a necessidade de mais água para higienização (CEREZINI, 2020; WWAP, 2021) e pela presença do coronavírus nas águas residuárias (CHERNICHARO et al., 2022).

Segundo Dunn, Cook e Bekker (2012), os ecossistemas pelo mundo têm mostrado vários sinais de estresse hídrico devido ao comprometimento da quantidade e da qualidade das águas doces. Os mesmos autores corroboram que as práticas do uso e ocupação do solo, as mudanças climáticas e as alterações das demandas de água são estressores hídricos e podem provocar riscos na qualidade e quantidade de água. Ainda para esses autores, os vários fatores de estresse hídrico e seus efeitos cumulativos desafiam a gestão das águas e exigem uma abordagem integrativa.

Para Kalil e Checco (2019), os maiores desafios na gestão da água no Brasil envolvem os estresses hídricos de qualidade e quantidade de água que as bacias hidrográficas estão expostas. Para os autores, a poluição hídrica ainda é um grande problema no Brasil, devido à carência de investimentos em infraestruturas para o tratamento de águas residuárias. Mencionam ainda que o segundo desafio é a questão da quantidade de água, sendo que vários fatores têm contribuído para as mudanças nos regimes pluviométricos e fluviométricos, sendo os principais deles: o aumento das temperaturas e do consumo de água e as alterações do uso do solo, principalmente devido às atividades agrícolas.

Diante da complexidade das demandas econômicas, sociais e das condições ambientais, a gestão e o gerenciamento de recursos hídricos são desafios para o atendimento das necessidades socioeconômicas e aquelas vitais para a manutenção da vida, tal como o abastecimento humano de água (OLIVEIRA FILHO, 2015). O Brasil é dotado de instrumentos normativos e reguladores dos recursos hídricos, sendo estabelecido pela Constituição Federal de 1988 que compete aos Estados e a União o domínio sobre as águas, sendo de autoridade pública a gestão desse recurso (BRASIL, 1988). Logo, os municípios e quaisquer meio particular não são detentores das águas. Porém, cabe aos municípios a autoridade sobre o uso do solo, que afeta sumariamente as condições ambientais para a manutenção da quantidade e qualidade de água para atender as demandas da sociedade, sobretudo, o abastecimento humano de água (STEINBERGER, 2006). Isso afeta diretamente a garantia da segurança hídrica em disponibilidade suficiente e a manutenção da qualidade para atender as demandas potáveis para consumo humano.

A cidade de Juiz de Fora, detém 3 (três) importantes mananciais de abastecimento humano de água: as represas Dr. João Penido e São Pedro e o Ribeirão Espírito Santo, afluentes do rio Paraibuna (CESAMA, 2022a; ROCHA et al., 2018). Todos eles vêm sofrendo com a degradação de suas bacias hidrográficas, devido à ocupação desordenada que provoca o assoreamento dos corpos hídricos, a degradação de Áreas de Preservação Permanente (APP's) e aumenta a má qualidade da água (ROCHA et al., 2018). Conseqüentemente, perde-se água tanto em qualidade quanto em quantidade, trazendo insegurança hídrica para cidade.

Diante desse contexto, está inserida a área de pesquisa dessa dissertação de mestrado, a Bacia Hidrográfica de Contribuição da Represa de Chapéu D'Uvas (BCRCD), um importante manancial de água que tem a função de abastecer a cidade de Juiz de Fora. Trata-se de uma bacia hidrográfica conflituosa, dado a sua localização em municípios diferentes, Ewbank da Câmara, Santos Dumont e Antônio Carlos, que desejam expandir o turismo e a especulação

imobiliária na região (MACHADO, 2012). De outro lado, a principal funcionalidade da represa prevista no projeto da barragem é de abastecer a área urbana do município de Juiz de Fora que se encontra localizada a jusante da BCRCD (MACHADO, 2012; PREFEITURA JUIZ DE FORA, 2015).

Frente às necessidades de aplicação de metodologias que possam ser empregadas em qualquer bacia hidrográfica, por meio do cálculo do grau de risco à segurança hídrica da água bruta, baseado no diagnóstico das condições de estresse hídrico de bacias hidrográficas e de suas águas em termos de qualidade e quantidade. Tendo em vista a escassez de trabalhos nessa área no Brasil; e a necessidade de contribuições científicas para a agenda de ações de gestão de recursos hídricos das agências de bacia e dos comitês de bacia e do plano nacional e planos estaduais de segurança hídrica e planos de uso da área das bacias hidrográficas. Os objetivos desse trabalho são pertinentes, ao explorar o diagnóstico das condições dos estresses hídricos da BCRCD e, posteriormente, mensurar o grau de risco à segurança hídrica para abastecimento humano de água por meio da utilização do método *Failure Model and Effect Analysis* (FMEA). Dessa forma, o risco à segurança hídrica em uma bacia hidrográfica pode ser identificado e mensurada a sua magnitude, a fim de alertar as organizações competentes e orientar quanto ao direcionamento das ações de gestão de bacias hidrográficas e gerenciamento dos recursos hídricos referentes ao impacto encontrado sobre a qualidade e a quantidade de água de cada estressor hídrico. Nesse sentido, a proposta metodológica contribui para nortear o desenvolvimento de planos de ação para garantia da segurança hídrica para a continuidade do abastecimento de água pela represa de Chapéu D'Uvas para a cidade de Juiz de Fora. Fornece uma análise de dados e resultados para corroborar com o incremento de novos projetos de pesquisa na referida bacia hidrográfica sobre os efeitos de cada estressor hídrico no manancial de abastecimento e para o emprego de novas tecnologias de monitoramento desses estressores hídricos na bacia hidrográfica.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Realizar o diagnóstico do risco à segurança hídrica na represa de Chapéu D’Uvas, por meio de uma análise comparativa entre os anos de 2014 e 2021, a fim de avaliar as condições dos estressores hídricos sobre a qualidade e a quantidade de água nos respectivos anos.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Identificar a situação dos estressores hídricos de quantidade e qualidade de água a montante do ponto de captação de água para abastecimento humano da cidade de Juiz de Fora na represa Chapéu D’Uvas;
- Mensurar o risco à segurança hídrica da água bruta da represa de Chapéu D’Uvas, com base no grau de estresse hídrico da bacia hidrográfica e da represa, por meio do método *Failure Model and Effect (FMEA)*;
- Apresentar os estressores hídricos que requerem maior atenção para desenvolvimento de ações de monitoramento e controle pelos gestores públicos atuantes na bacia hidrográfica.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Abordagens Conceituais da Segurança Hídrica e seu Gerenciamento

Este tópico retrata as abordagens conceituais atribuídas à segurança hídrica pelas Organizações Internacionais e do Brasil, conforme suas similaridades e diferenças sobre esse assunto tão amplo e suas aplicabilidades. Aproxima-se também da perspectiva da evolução do conceito de segurança hídrica a partir da variável risco, que envolve objetivos e metas para a gestão de recursos hídricos.

Segundo a GWP (2012), Unesco (2013) e WaterAid (2012), a segurança hídrica consiste no acesso à água em quantidade e qualidade em níveis suficientes para as necessidades humanas básicas, para os meios de subsistências, serviços ecossistêmicos, manutenção da saúde humana e proteção eficaz da vida. O Conselho Mundial da Água e o Ministério de Recursos Hídricos da China incluiu na abordagem do conceito os setores econômicos e as necessidades dos ecossistemas naturais do planeta, como aqueles que devem ter água em quantidade e qualidade adequadas sem exceder a capacidade de renovação (MINISTRY OF WATER RESOURCES OF CHINA AND THE WORLD WATER COUNCIL, 2018).

Para a Declaração Ministerial do 2º Fórum Mundial da Água (WORLD WATER FORUM, 2000), a segurança hídrica compreende também o acesso ao saneamento básico e ao empoderamento de pessoas na gestão da água de forma participativa, principalmente as mulheres. Além disso, deve garantir a segurança alimentar, isto é, alocar a água de forma equitativa para produzir alimentos, sobretudo para os mais pobres (WORLD WATER FORUM, 2000).

Já a Agência Nacional de Águas (ANA, 2015) aborda o tema de forma mais ampla, na qual a segurança hídrica está associada à quantidade e qualidade aceitáveis de água para os diferentes usos múltiplos, ou seja, além do abastecimento humano, preservação dos ecossistemas, agricultura, incluindo também os demais usos, tais como, indústrias, dessedentação de animais e produção de energia elétrica.

Tanto para a Unesco (2013) quanto para o World Water Forum (2000), a segurança hídrica abrange como referencial de atuação a bacia hidrográfica, assim, deve-se proteger os ecossistemas por meio de uma gestão dos recursos hídricos sustentáveis, considerando todo o ciclo hidrológico, e do compartilhamento dos recursos hídricos na promoção da cooperação e sinergia dos diferentes usos das águas, inclusive transfronteiriços. A gestão dos usos das águas,

com vistas à segurança hídrica, deve ser transparente e eficiente, além de conter mecanismos de gestão de conflitos de usuários (UNESCO, 2013).

Para a Ana (2015), Unesco (2013), WaterAid (2012) e World Water Forum (2000), a segurança hídrica está atrelada ao gerenciamento de riscos de desastres ambientais, tais como inundações, deslizamentos de terra e secas extremas. A GWP (2012) complementa ao mencionar que a segurança hídrica, além de estar relacionada aos riscos ambientais, envolve também os riscos às pessoas e à economia.

Para OECD (2013), segurança hídrica é o gerenciamento dos riscos hídricos. A organização aponta 4 (quatro) tipos de riscos, nos quais, a combinação e a probabilidade de ocorrerem podem causar impactos. A saber:

- a) Risco de escassez (incluindo secas): falta de água suficiente para atender à demanda (tanto no curto como no longo prazo) para usos benéficos por todos os usuários de água (famílias, empresas e meio ambiente);
- b) Risco de qualidade inadequada: falta de água de qualidade adequada para um propósito ou uso específico;
- c) Risco do excesso (incluindo inundações): transbordamento dos limites normais do sistema de água (natural ou construído), ou o acúmulo destrutivo de água sobre áreas que normalmente não estão submersas;
- d) Risco de comprometer a resiliência dos sistemas de água doce: exceder a capacidade de enfrentamento das massas de água superficiais e subterrâneas e suas interações sistêmicas; possivelmente cruzando pontos de inflexão e causando danos irreversíveis às funções hidráulicas e biológicas do sistema.

Devido à natureza da água, que é um recurso hidrológico interconectado, todos os quatro riscos devem ser avaliados ao mesmo tempo, visto que podem impactar uns nos outros, estando interligados entre si (OECD, 2013). Dessa forma, o gerenciamento dos riscos hídricos é de suma importância para se ter uma segurança hídrica adequada.

A OMS (2009) desenvolveu um manual para elaboração de Planos de Segurança Hídrica. Nesse manual, são identificadas as fontes de perigo e seus riscos associados que podem afetar a qualidade e quantidade das águas das bacias hidrográficas e colocar em risco a segurança hídrica. A Tabela 1 apresenta as fontes de perigos e seus riscos conexos.

Tabela 1: Fontes de perigo e riscos associados à questão da água

Fonte de perigo	Riscos associados
Padrões de meteorologia e climatologia	Inundações e mudanças rápidas na qualidade da fonte de água
Variações sazonais	Alterações na qualidade da fonte de água
Geologia	Contaminação de água subterrânea por entrada de água superficial
Agricultura e Silvicultura	Contaminação microbiana, nitrato; chorume e estrume; eliminação de animais mortos; pesticidas e hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs)
Indústria (incluindo as abandonadas e os antigos terrenos industriais)	Contaminação química e microbiana; perda de potencial fonte de água devido à contaminação subterrânea
Mineração (incluindo minas abandonadas)	Contaminação química
Transporte – estradas, ferrovias e aeroportos (incluindo aeródromos abandonados)	Pesticidas e produtos químicos (acidentes de trânsito)
Desenvolvimento urbano	Escoamento superficial
Habitação – fossas sépticas	Contaminação microbiana
Matadouros	Contaminação orgânica e microbiana
Animais selvagens	Contaminação microbiana
Uso recreativo	Contaminação microbiana
Uso da água competitivo (conflitos)	Insuficiência
Armazenamento de água bruta	Proliferação de algas e toxinas; estratificação
Aquífero freático	Qualidade da água sujeita à mudança inesperada
Poço/perfuração construída sem impermeabilização; perfuração com revestimento corroído ou incompleto	Intrusão de água de superficial ou salina
Inundação	Qualidade e insuficiência de água bruta

Fonte: Adaptado de OMS (2009).

Para a ANA (2019a), a gestão de riscos abrange a obtenção de respostas para as crises hídricas, ao aprofundar os conhecimentos sobre a vulnerabilidade hídrica e a exposição do ambiente a eventos extremos, para antever situações e propor ações coordenadas para o aumento da resiliência do ambiente. A Figura 1 apresenta as ações necessárias de gestão para se obter a segurança hídrica. As ações são direcionadas para melhorias a longo prazo, com planejamento estruturado e selecionando as prioridades de uso, além de adotar ações emergenciais com vistas as prioridades dos usos da água.



Figura 1: Ações para obtenção da Segurança Hídrica
 Fonte: ANA (2019a).

O Ministério do Desenvolvimento Regional, por meio da ANA, elaborou um Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH), que tem o foco nos grandes problemas de segurança hídrica no Brasil, que consistem: atendimento às demandas efetivas (existentes e projetadas) e um olhar amplo e integrado, que oriente intervenções estruturantes e duradouras (ANA, 2019a).

O Programa de Segurança Hídrica Nacional (PSH) corresponde a um instrumento de planejamento executivo dos investimentos do PNSH, a fim de minimizar os riscos da escassez hídrica e melhorar o controle de cheias (ANA, 2019a). A Tabela 2 apresenta os componentes do PSH, dos quais fazem parte os estudos e projetos, as obras e mecanismos institucionais. Para cada componente estão discriminadas as especificações técnicas para investimento.

Tabela 2: Componentes do Programa de Segurança Hídrica

Componentes do PSH	Especificações Técnicas
Componente Estudos e Projetos	Inclui os investimentos para a elaboração dos projetos (executivo, básico e anteprojeto) das obras recomendadas e dos estudos complementares necessários à confirmação de obras potenciais, contemplando: estudos de viabilidade técnico-econômica e ambiental – EVTEA; estudos de alternativas para aproveitamento de recursos hídricos em áreas complexas, como é o caso das regiões metropolitanas, e em áreas de baixo grau de segurança hídrica; e estudos de detalhamento de planos de desenvolvimento regional.
Componente Obras	Abrange os investimentos referentes à execução física das obras recomendadas.
Componente Institucional	Inclui os investimentos estimados para operação e manutenção (O&M) das obras recomendadas, exceto energia elétrica.

Fonte: ANA (2019a).

As intervenções abordadas envolvem a construção de barragens com o objetivo de regularizar vazões para controle de cheias e oferta de água para abastecimento humano ou outros usos (ANA, 2019a). Além disso, também envolvem infraestruturas de condução e derivação de água para abastecimento humano e outros usos múltiplos, sistemas adutores, canais e eixos de integração. Não faz parte do escopo do PNSH as intervenções locais e de caráter emergencial (ANA, 2019a). Assim, observa-se que no PNSH não estão inclusos projetos voltados, especificamente, ao monitoramento dos estressores hídricos das bacias hidrográficas e em estudos de risco à segurança hídrica.

Em Minas Gerais, o governo estadual, por meio da coordenação geral da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD) e pela condução técnica do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), está elaborando o Plano Mineiro de Segurança Hídrica (PMSH-MG), com vista para ações de segurança hídrica em todo o estado, incluindo a revitalização de bacias hidrográficas (AGÊNCIA MINAS, 2021).

Ao longo do ano de 2023, o IGAM e a consultoria contratada, a Profill – Engecorps, desenvolverão os estudos, levantamentos e diagnósticos com vistas a mapear as áreas prioritárias para a segurança hídrica (AGÊNCIA MINAS, 2022). Com essas informações um banco de projetos com ações executivas e especificações técnicas serão desenvolvidas para serem implementadas em cada área prioritária da segurança hídrica (AGÊNCIA MINAS, 2022).

2.2 Fatores de Estresse Hídrico da Água Bruta

Os estressores hídricos são compreendidos por uma combinação de fatores quantitativos e qualitativos que podem provocar um efeito adverso na segurança hídrica, impactando negativamente os sistemas de abastecimento de água (MELLO, 2016). Vários são os estressores hídricos e suas diferentes implicações em uma bacia hidrográfica que geram consequências na quantidade e qualidade da água. Nesta seção é apresentado o contexto desses diferentes estressores e seus efeitos pelo mundo e no Brasil.

As mudanças climáticas, as alterações no uso do solo associados ao desmatamento das florestas e das matas ciliares, o aumento dos usos agrícolas e o adensamento urbano tornam as bacias hidrográficas vulneráveis aos estressores hídricos de quantidade e qualidade de água (ZIMMERMAN; MIHELIC; SMITH, 2008).

O estresse hídrico foi medido pela WWAP (2021) em todos os países do globo terrestre. A metodologia consistiu em demonstrar em um mapa a medida do estresse hídrico por região, por meio do balanço hídrico do total de retiradas versus o total de água superficial e subterrânea disponível (WWAP, 2021). A Figura 2 ilustra o resultado do estudo, onde quanto mais alta a porcentagem ou quanto mais próximo da cor vermelho escura maior é a competição entre os usuários de água, logo, maior é o estresse hídrico da região (WWAP, 2021).

A Figura 2 apresenta o estresse hídrico ao longo dos continentes, de acordo com a WWAP, nota-se o valor extremamente alto (*extremely high*) para estresse hídrico compreendido pela porcentagem acima de 80% (cor vermelho escuro). Percebe-se que os países do Oriente Médio, da região da Indonésia, Mediterrâneo, China, Norte da África, México, áreas mais ao sul dos EUA e algumas regiões dos Andes na América Latina são aqueles que estão com estresse hídrico mais acentuado. Em seguida, para valores entre 40 e 80% (cor vermelho claro), estão os países com estresse hídrico alto (*high*), incluída a região semiárida do Brasil. Para valores entre 20 a 40% (cor laranja), o estresse hídrico é médio a alto (*medium-high*) e, esta faixa aplica-se ao norte de Minas Gerais, ao Nordeste e à região de São Paulo e Rio de Janeiro. De 10 a 20% (cor amarelo escuro), o estresse hídrico é baixo a médio (*low-medium*) e, menor que 10% (cor amarelo claro), o estresse hídrico é baixo (*low*). A maior parte da extensão territorial do Brasil está no nível baixo para estresse hídrico, salvo as regiões já mencionadas acima que figuram nas escalas mais elevadas. As demais áreas em cor cinza claro são as consideradas áridas e com baixo uso de água (*arid and low water use*) e para a cor cinza escuro não há informações (*no data*).

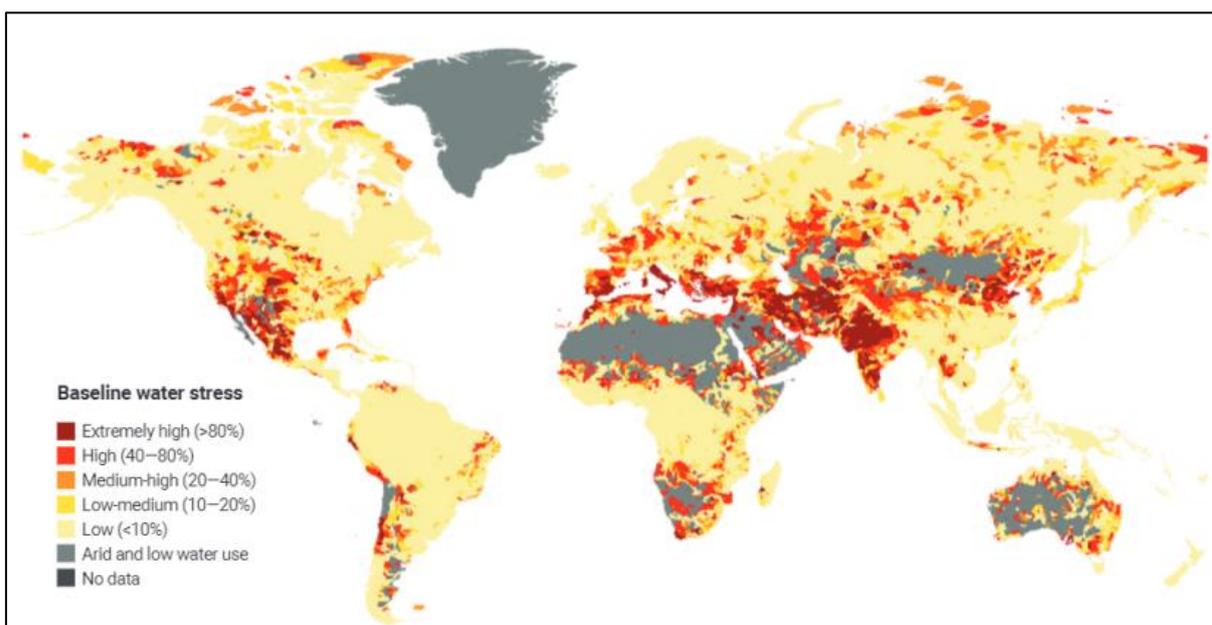


Figura 2: Estresse hídrico no mundo
Fonte: WWAP (2021).

A Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil (ANA, 2019b) avalia que o aumento populacional, sobretudo nas áreas urbanas, o crescimento econômico que impactam nas alterações do uso do solo, as mudanças climáticas e os eventos hidrológicos extremos provocam um desequilíbrio na oferta e na demanda de água.

WaterAid (2012) afirma que a escassez hídrica é um estressor hídrico e que a segurança hídrica está atrelada a esse contexto, no qual a escassez hídrica é a relação da demanda de água e sua disponibilidade. Ainda para WaterAid (2012), existem dois tipos de escassez: a física quando a demanda de água supera a oferta, e a escassez socioeconômica de água quando investimentos e políticas públicas são insuficientes; em ambas as situações, a escassez hídrica é derivada de má gestão governamental dos recursos hídricos.

Assim, o estresse hídrico é o resultado da escassez hídrica, que se manifesta por meio da falta de água potável, saúde precária, conflitos pelo uso da água e insegurança alimentar e energética (WATERAID, 2012).

O Fórum Mundial da Água de 2018 evidenciou que o estresse hídrico, muitas vezes, é considerado um fenômeno sazonal e não anual, devido à variabilidade sazonal de disponibilidade de água. Todavia, estima-se que 4 bilhões de pessoas no mundo vivem em áreas que sofrem escassez de água por pelo menos um mês ao ano (FÓRUM MUNDIAL DA ÁGUA, 2018). Em vários casos, a escassez hídrica pode ser considerada uma escassez econômica de água, isto é, embora a água esteja disponível fisicamente, ela carece de infraestrutura para acessá-la (COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF WATER MANAGEMENT IN AGRICULTURE, 2007).

O Relatório das Mudanças Climáticas do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2022) alerta que as mudanças climáticas estão aumentando em frequência e intensidade os eventos extremos de precipitação e de seca. Esses eventos extremos reduzem a segurança hídrica, que dificulta os esforços para cumprimento dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas (ONU) (IPCC, 2022). O Relatório do IPCC 2022 apresenta que o aumento dos eventos climáticos extremos está sendo mais observado na África, Ásia, América Central e do Sul e no Ártico; além disso, metade da população mundial atualmente experimenta grave escassez de água por pelo menos uma parte do ano devido aos fatores climáticos de aumento de temperatura e também por fatores não climáticos. Exprime-se que os fatores não climáticos são os usos insustentáveis dos recursos naturais, fragmentação florestal e aumento da poluição do ar (IPCC, 2022).

Segundo Jiang (2015), uma série de estudos recentes na China, que se dedicaram a analisar o ciclo hidrológico e as mudanças climáticas, verificou que nos últimos 50 anos houve um aumento na temperatura no país, principalmente na região norte. As regiões mais secas do norte e nordeste têm recebido menos chuvas e as regiões mais úmidas do sul têm recebido mais chuvas no verão e no inverno (JIANG, 2015).

Para Vorosmarty et al. (2014), no continente Africano, análises iniciais revelaram consequências das alterações climáticas sobre os recursos hídricos regionais maiores que os impactos do crescimento populacional e do desenvolvimento econômico. Tradicionalmente, para tentar aliviar a escassez de água, prevalece a expansão das barragens, reservatórios e transferências de água entre bacias hidrográficas; no entanto, essas obras são dispendiosas financeiramente e ambientalmente (VOROSMARTY et al., 2014). Além do mais, são previstas pressões a montante para estabilizar os fluxos, devido à falta de confiança nos fluxos atuais (VOROSMARTY et al., 2014).

Para WWAP (2021), as mudanças climáticas provavelmente aumentarão a variabilidade sazonal, que trará consequências sobre o abastecimento de água, sendo elas o aumento das incertezas da oferta de água e poderão ocorrer falhas no abastecimento. Ainda segundo WWAP (2021), problemas em áreas com um histórico de escassez hídrica podem se potencializar e, concomitantemente, os eventos extremos de água em locais onde esse fenômeno não é recorrente podem passar a coexistir. O Relatório do IPCC de 2022 aponta para os deslocamentos e migração involuntária dos eventos extremos de seca e inundação pelo mundo, que gerarão e perpetuarão a vulnerabilidade hídrica (IPCC, 2022).

Os eventos extremos de excesso ou escassez de chuvas têm ocorrido com maiores frequências no Brasil (ANA, 2021a). As secas, estiagens, enxurradas e inundações representam os maiores desastres ambientais. Infere-se que 49,4% dos municípios brasileiros decretaram Estado de Calamidade Pública (ECP) ou Situação de Emergência (SE), devido às cheias entre os anos de 2003 a 2020, sendo a maioria desses eventos nos municípios das regiões Nordeste, Sul e Sudeste, que somam juntos 88% desses municípios (ANA, 2021a). Com relação a eventos de seca ou estiagem, 15 vezes mais pessoas foram afetadas pela seca do que pelas cheias no Brasil entre os anos de 2017 e 2020; a região Nordeste foi a mais castigada com 80% dos eventos de seca no Brasil, seguida pela região sudeste (11%) e sul (9%) (ANA, 2021a).

Outro estressor hídrico está relacionado à demanda de água, que é potencializado pela gestão inadequada da água que afeta a disponibilidade hídrica. Gunda et al. (2019) afirmam que as crises globais de água ocorrem devido a consequências de gestões ineficientes da água. A

disponibilidade de água e o acesso aos seus usos estão atrelados aos arranjos políticos, econômicos, de governança e sociais (GUNDA et al., 2019).

Simultaneamente, a ausência de planejamento e de gestão institucional e a falta de investimentos em infraestruturas hídricas e de saneamento urbano e rural aumentam a pressão sobre os recursos hídricos e acrescem as condições das crises hídricas, como as que afetaram o Brasil em diferentes regiões desde 2013 (ANA, 2019b).

Nessa perspectiva sobre o planejamento e gestão dos recursos hídricos, o estresse hídrico relacionado à qualidade da água apresenta-se de forma preocupante. Para WWAP (2017), estima-se que 80% dos efluentes industriais e esgotos domésticos são despejados na natureza sem tratamento em todo o mundo. Essa proporção é ainda maior nos países em desenvolvimento e nos países subdesenvolvidos, visto que falta infraestrutura de tratamento de efluentes (WWAP, 2017). Conjuntamente, o excesso de nutrientes oriundo da agricultura despejados no solo e nos corpos hídricos vem provocando impactos negativos na qualidade da água e contribuindo para a contaminação de águas superficiais e subterrâneas, aumentando os efeitos sobre o estresse hídrico de má qualidade da água (OECD, 2017).

Jiang (2015) afirma que, na China, o lançamento de efluentes nos corpos d'água está ameaçando a segurança hídrica do país, onde houve um aumento de lançamento de efluentes, principalmente esgoto doméstico. Em 1990, o esgoto doméstico tinha participação de 30% do total de lançamento de efluentes na China e, em 2012, aumentou para 68% a participação de descargas anuais de efluentes nos corpos hídricos do país (JIANG, 2015).

No Brasil, 49,2% do esgoto doméstico não são tratados (TRATA BRASIL, 2022) e são lançados nos corpos hídricos pelo país, contribuindo para a insegurança hídrica. O lançamento de efluentes contamina os recursos hídricos, visto que provoca alterações nas propriedades naturais das águas (VON SPERLING, 2005).

Oliveira (2018) realizou um estudo sobre qualidade da água em vários pontos de monitoramento de entrada de água dos afluentes na represa da BCRC D e na própria área do espelho d'água da represa. Os resultados mostraram impactos de despejos de efluentes sem tratamento prévio, presença de coliformes, nutrientes e cianobactérias na água que extrapolam os limites aceitáveis pela legislação.

Outro estressor hídrico que contribui para a má qualidade da água são as mudanças do uso do solo. Prosdocimi et al. (2016) e Santos et al. (2017) afirmam que os processos sedimentológicos provocados pela remoção da vegetação nativa, erosões do solo e aumento de

atividades antrópicas intensificam o assoreamento de mananciais e mudam os padrões de qualidade da água.

Bembem (2020) e Rocha e Costa (2015) mencionam que as alterações do uso do solo nas APP's, que desempenham serviços ambientais de proteção dos recursos hídricos, tornam-nas fragilizadas pela remoção de vegetação, proporcionam a diminuição do potencial hídrico da bacia hidrográfica e, conseqüentemente, comprometem o abastecimento de água do manancial que esteja sobre efeitos dessas mudanças do uso do solo.

Bayer et al. (2020) afirmam que as intensas mudanças do uso do solo na bacia hidrográfica do rio Araguaia na região do Cerrado brasileiro têm provocado modificações nos processos hidrológicos do balanço hídrico do rio Araguaia, além de acelerar os processos erosivos, que vem promovendo o desenvolvimento de voçorocas e alterando o regime das vazões máximas, com uma forte queda do volume das vazões entre os anos de 2010 e 2019. As tendências demonstraram que a perda da profundidade média e o aumento da largura do canal são fatores preponderantes para as causas das mudanças dos regimes das vazões máximas (BAYER et al., 2020). No entanto, os mesmos autores relatam que é necessário avaliar esses resultados conjuntamente com as alterações das mudanças climáticas.

Machado (2012) em seu estudo fez um alerta sobre a intensificação das modificações do uso do solo na BCRCD e os intensos processos erosivos que estão assoreando o reservatório de Chapéu D'Uvas, comprometendo a vida útil desse manancial de água.

Zimmerman, Mihelcic e Smith (2008) atestam que os impactos dos estressores hídricos de qualidade e quantidade de água são interdependentes, ocorrem em escala global tanto em países desenvolvidos quanto em desenvolvimento e estão crescendo em todo o mundo. Com isso, existe um desafio para a comunidade científica e para os governos de equacionar esses fatores de insegurança hídrica e integrar e adaptar respostas no planejamento e desenvolvimento de soluções em níveis globais, regionais e locais (ZIMMERMAN; MIHELICIC; SMITH, 2008).

2.3 Conceito de Risco

A ISO 31.000: 2018 (ABNT, 2018) afirma que o risco é um desvio que pode ser positivo ou negativo e resulta em oportunidades ou ameaças; é expresso em fontes de risco, eventos potenciais, suas conseqüências e probabilidades de ocorrência.

Para Dagnino e Carpi Junior (2007), o risco ambiental tem sido empregado em diversas ciências e ramos do conhecimento e adaptados para cada situação de risco. Os autores

mencionam que, o termo risco pode ser substituído ou associado à susceptibilidade, vulnerabilidade, sensibilidade ou danos potenciais; além de ser um evento esperado ou não, que tem probabilidade de se tornar realidade. Já para a EPA (2021), o risco ambiental é considerado como a exposição a um estressor ambiental que pode provocar efeitos nocivos à saúde humana e ecológica.

Segundo Bruseke (1997), o risco ambiental tem um paradigma de alerta para a sociedade, a fim de mobilizá-la a tomar atitudes para conter as consequências associadas aos riscos ambientais, a saber:

O risco ambiental não pode ser confundido com o anúncio de um fato x na hora y. O risco não expressa uma corrente de determinações que conduzam necessariamente a um resultado prognosticado. Por isso, falar sobre riscos, no campo ambiental, tem sempre o caráter de um alerta que mobiliza argumentativamente a imaginação de movimentos lineares que levam impreterivelmente à catástrofe, ou pelo menos, a um dano irreparável, se nós não fizermos alguma coisa (BRUSEKE, 1997, p 124-125).

A avaliação do risco ambiental abarca a relação entre a confiabilidade e a criticidade de sistemas complexos, nos quais inúmeras variáveis têm um comportamento dinâmico e são analisadas por meio de indicadores que monitoram seus efeitos e interações na realidade em diversas escalas e diferenças de períodos de tempo, com o propósito de definir níveis de gestão que podem ser internacionais, nacionais ou locais (EGLER, 1996).

Para Egler (1996) e Dagnino e Carpi Junior (2007), os riscos são classificados em natural, social e tecnológico. Eles atuam de formas diferentes e, as vezes, concomitantes no sistema de riscos, sendo necessário identificá-los para posteriormente serem analisados e avaliados. A saber:

- Risco natural: são riscos associados ao comportamento dinâmico da natureza, relacionados à vulnerabilidade a eventos críticos das condições de estabilidade e instabilidade de curta, média e longa duração, tais como inundações e deslizamentos de terra;
- Risco social: corresponde a degradação das condições de vida em função da carência do desenvolvimento humano. Relaciona-se ao acesso à água tratada, ao esgotamento sanitário, condições de habitabilidade;

- Risco tecnológico: potencial de ocorrência de eventos danosos à vida, tais como acidentes com produtos químicos, acidentes nucleares, vazamento de efluentes e deposição de resíduos de forma irregular.

Dagnino e Carpi Junior (2007) exprimem que o conceito de bacia de risco, aplicado em bacias hidrográficas. Esse conceito abrange a convergência entre a ação de um ou mais riscos concomitantes, isto é, a atuação de um risco natural como a precipitação, associado à ocupação das APP's de rio (risco social) e à canalização de curso d'água (risco tecnológico) podem acarretar em enchentes e inundações em uma determinada região devido as alterações do uso do solo e modificações do curso d'água, que não ocorriam anteriormente, por se tratarem de áreas anteriormente brejosas e/ou de matas ciliares (DAGNINO; CARPI JUNIOR, 2007).

A ISO 31.000: 2018 (ABNT, 2018) propõe a gestão do risco, que envolve a criação e proteção de algo que tem valor. A estrutura da gestão de risco caminha pela integração da governança (liderança e comprometimento), que engloba: integração, concepção, implementação, avaliação e melhoria da gestão de riscos (Figura 3).



Figura 3: Estrutura da gestão de riscos
Fonte: ABNT (2018).

Dentro da estrutura da gestão de risco, que compreende o desenvolvimento metodológico dessa dissertação, destaca-se a avaliação do risco que consiste em três etapas: identificar, analisar e avaliar o risco. A Figura 4 apresenta o fluxograma que demonstra o

processo da avaliação do risco. Esse fluxograma deve ser retroalimentado, com informações disponíveis, opinião de especialistas, dados históricos, observações, diagnósticos e previsões.

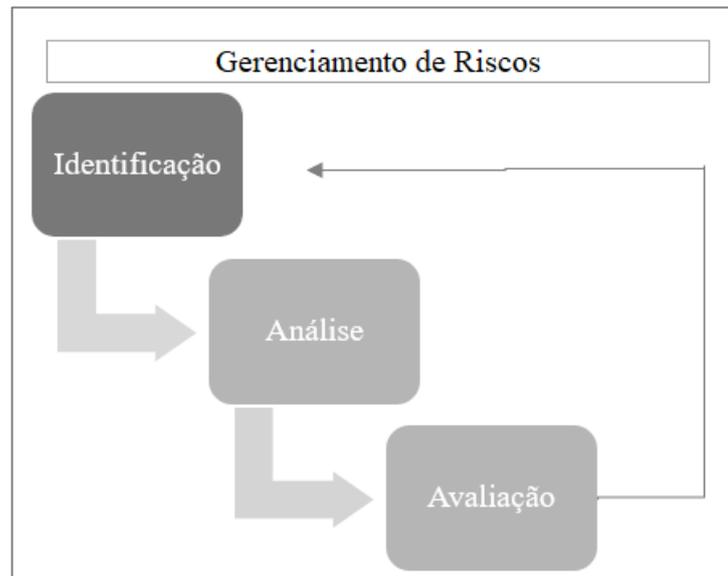


Figura 4: Etapas da avaliação de riscos
Fonte: ABNT (2018).

A identificação do risco consiste em uma variedade de técnicas para diagnosticar as incertezas que podem provocar algum evento de risco. A ISO 31.000:2018 alerta para a necessidade de identificar os riscos mesmo que as suas fontes não estejam sob o controle da organização. A identificação de riscos consiste na relação dos seguintes fatores (ABNT, 2018):

- Fontes tangíveis e intangíveis de risco;
- Causas e eventos;
- Ameaças e oportunidades;
- Vulnerabilidades e capacidades;
- Mudanças nos contextos externos e internos;
- Indicadores de riscos emergentes;
- Natureza e valor dos ativos e recursos;
- Consequências e seus impactos nos objetivos;
- Limitações de conhecimento e de confiabilidade de informação;
- Fatores temporais;
- Vieses, hipóteses e crenças dos envolvidos.

Segundo a ISO 31.000: 2018, a análise do risco tem o propósito de compreender as características do risco e seu nível de atuação. A análise de riscos envolve vários graus de detalhamento e complexidade, que vai depender do que se pretende investigar; as técnicas de análise podem ser qualitativas e quantitativas ou a combinação das duas (ABNT, 2018). Deve-se considerar os fatores, tais como:

- Probabilidade de eventos e consequências;
- Natureza e magnitude das consequências;
- Complexidade e conectividade;
- Fatores temporais e volatilidade;
- Eficácia dos controles existentes;
- Sensibilidade e níveis de confiança.

Depreende-se que a análise de riscos pode ser influenciada por opiniões, percepções e julgamentos divergentes e podem ocorrer limitações técnicas e metodológicas, influências adicionais de hipóteses e exclusões (ABNT, 2018). Assim sendo, é necessário considerar, documentar e comunicar aos tomadores de decisão todas as variáveis da análise de riscos (ABNT, 2018).

A análise de riscos abastece de informações sobre a necessidade de um risco ser tratado ou não; logo, ela é uma entrada da avaliação de riscos, fornecendo discernimento para as decisões sobre os diferentes níveis de risco (ABNT, 2018).

A avaliação de riscos tem o objetivo de comparar os resultados da análise dos riscos com os critérios de impactos dos riscos e determinar as ações necessárias para mitigar/corrigir/sanar os riscos (ABNT, 2018). A avaliação dos riscos engloba:

- Não fazer nada, apenas monitorar os riscos;
- Considerar as opções de tratamento de riscos;
- Realizar análises adicionais para melhor compreender o risco;
- Manter os controles existentes;
- Reconsiderar os objetivos.

2.4 Análise do Risco à Segurança Hídrica por meio do Método FMEA

A segurança hídrica tem a função de inserir objetivos e metas ao sistema de gestão de recursos hídricos. Mello (2016) afirma que metas de segurança hídrica associadas a riscos são mais facilmente mensuráveis. Parte-se do princípio que o risco à segurança hídrica compreende um status mensurável de um estado de segurança para outro de escala maior ou menor (WHITTINGTON; SADOFF; ALLAIRE, 2013). Dessa forma, as demandas de ações de gestão do recurso hídrico podem requerer mais investimentos ou menores investimentos, o que vai depender do risco associado (MELLO, 2016). Isto é, quanto maior o risco à segurança hídrica, maiores serão os custos para mitigar esse risco. Nessa pesquisa, foi utilizado o método FMEA (*Failure Model and Effect Analysis*) para analisar o grau do risco a segurança hídrica da represa de Chapéu D'Uvas.

O método FMEA é muito utilizado na indústria na área de gestão ambiental, qualidade, ciclo de vida do produto e segurança do produto ou processo (CHIOZZA; PONZETTI, 2009; KUMRU; KUMRU, 2012). Contribui na identificação das falhas no processo produtivo que geram impactos ambientais e proporciona melhorias contínuas nos processos, a fim de agregar valor e reduzir a utilização de insumos naturais (SOARES et al., 2013; VILAS BÔAS; PERES, 2014).

Esse método mostra eficiência na análise de riscos ambientais, e empregado durante o processo produtivo tem o intuito de evitar que o produto ou processo contenha falhas potenciais e propõe melhorias para o processo (ANDRADE; TURRIONI, 2015). A metodologia determina a causa, o efeito e o risco de cada tipo de falha, analisa e verifica os riscos e implanta ações que podem aumentar a confiabilidade do processo ou produto (ANDRADE; TURRIONI, 2015; HELMAN; ANDERY, 1995; TOLEDO; AMARAL, 2012; ZAMBRANO; MARTINS, 2007).

Para Vandenbrande (1998), o método FMEA pode ser adaptado para a análise de riscos ambientais, já que utiliza pontuações de graus de risco (severidade, ocorrência e detectabilidade). Vários autores usaram o FMEA para análise de risco ambiental: Martins e Zambrano (2003) fizeram a identificação do risco ambiental na indústria de usinagem por meio do FMEA; Junior et al. (2011) levantaram os impactos ambientais de uma instituição de ensino, o IFET Mato Grosso do Sul, campus Cuiabá em Bela Vista; Maciel e Freitas (2014) analisaram os impactos causados por postos de combustíveis no solo e na água subterrânea; e Vilas Bôas e Peres (2014) identificaram os impactos ambientais provocados por um laticínio em Ingaí-MG.

Já Soares et al., (2013) analisaram o risco ambiental de uma lavanderia em Natal-RN e Andrade e Turrioni (2015) aplicaram o método em um sistema de gestão ambiental.

Ainda tem destaque o FMEA foi aplicado por Lindhe et al. (2011) para identificar as medidas de redução de risco em sistemas de água potável desde o manancial de abastecimento até a torneira. Os autores aplicaram o método de falhas para modelar alternativas de redução de risco e combinar os resultados com uma análise de custo-benefício para fornecer suporte a tomada de decisão. Na pesquisa, foi identificado que a avaliação das medidas econômicas é importante para a tomada de decisão. As limitações e benefícios foram analisados para medir o valor agregado de combinar uma avaliação de risco quantitativa com uma avaliação de risco econômica. Com essa proposta, foi possível diagnosticar o risco associado com a segurança hídrica do sistema de água potável da cidade de Gotemburgo na Suécia. O nível aceitável de segurança hídrica foi proposto e os resultados foram comparados com a política estabelecida de meta de segurança hídrica do país (LINDHE et al., 2011).

Segundo Lindhe et al. (2011), o sistema de água potável é composto por um conjunto de subsistemas e componentes: água bruta, estação de tratamento de água e sistema de distribuição. Os autores afirmam que os eventos de falha podem ocorrer em um ou mais desses conjuntos de subsistemas por estarem interligados entre si. Logo, uma compreensão conceitual das falhas é necessária e quais problemas podem afetar o consumidor (LINDHE et al., 2011). Para os autores, são dois os principais tipos de falhas no abastecimento de água: falha na quantidade, a água não é entregue ao consumidor, e na qualidade, a água é entregue, mas não cumpre os padrões de qualidade. O método de análise de riscos pôde ser aplicado para avaliar os dois tipos de falha conjuntamente.

O FMEA tem três entradas de dados para calcular o risco associado à falha, sendo elas (CHANG; SUN, 2009; ZAMBRANO; MARTINS, 2007):

- Severidade do Impacto (S): determina a gravidade do impacto;
- Ocorrência do impacto (O): indica a probabilidade ou ocorrência das falhas;
- Detectabilidade do impacto (D): probabilidade de a falha ocorrer antes de ser detectado o impacto.

Soares et al. (2013), Vilas Bôas et al. (2014) e Zambrano e Martins (2007) demonstram em suas pesquisas o método FMEA aplicado à gestão ambiental de processos produtivos. São determinadas as propriedades para a severidade do impacto, a ocorrência e a detectabilidade do

impacto, conforme o grau de impacto de cada categoria, sendo atribuídos os pesos que variam de 1 (baixo), 2 (moderado) a 3 (alto). As Tabelas 3, 4 e 5 demonstram o grau, a especificação e a classificação para a severidade, detectabilidade e ocorrência do impacto, respectivamente.

Tabela 3: Critérios de classificação da severidade do impacto

Severidade (S) do impacto ambiental		Classificação
Alta	Produtos muito danosos ao meio ambiente, que apresentam as características: corrosivas, reativas, explosivas, toxicidade, inflamabilidade, e patogenicidade	3
Moderada	Produtos danosos ao meio ambiente, que possuem longo tempo de decomposição, por exemplo: metais, vidros e plásticos. Também é considerada a utilização de recursos naturais	2
Baixa	Produtos pouco danosos ao meio ambiente, que possuem curto tempo de decomposição, como papelão e tecidos	1

Fonte: Soares et al. (2013), Vilas Bôas et al. (2014) e Zambrano e Martins (2007).

Tabela 4: Critério de classificação da detectabilidade do impacto

Detectabilidade (D) do impacto ambiental		Classificação
Alta	Para detectar o impacto ambiental é necessário tecnologias sofisticadas	3
Moderada	O impacto ambiental é percebido com medidores simples	2
Baixa	O impacto ambiental pode ser percebido visualmente	1

Fonte: Soares et al. (2013), Vilas Bôas et al. (2014) e Zambrano e Martins (2007).

Tabela 5: Critério de classificação da ocorrência do impacto

Ocorrência (O) do impacto ambiental		Classificação
Alta	O impacto ambiental ocorre diariamente	3
Moderada	O impacto ambiental ocorre mensalmente	2
Baixa	O impacto ambiental ocorre semestralmente ou anualmente	1

Fonte: Soares et al. (2013), Vilas Bôas et al. (2014) e Zambrano e Martins (2007).

O risco associado (R) é calculado pela multiplicação dos pesos atribuídos na classificação para severidade (S), ocorrência (O) e detectabilidade (D) – Equação 1.

$$R = S * O * D \quad \text{Equação (1)}$$

Quanto maior o R, maior será o dano relacionado ao impacto, que exigirá prioridades de ações corretivas e preventivas.

Mello (2016) desenvolveu um modelo de análise de risco à segurança hídrica da água bruta para abastecimento utilizando o método FMEA, e atribuiu como método de falha o grau do estresse hídrico da bacia hidrográfica, baseado em estressores hídricos de quantidade e qualidade de água bruta. Na metodologia proposta pela autora, foram definidos os critérios de

severidade, detectabilidade e ocorrência dos estressores hídricos e seus respectivos pesos. Essa dissertação de mestrado seguiu a metodologia proposta por Mello (2016) para calcular a severidade, a ocorrência e a detectabilidade dos estressores hídricos de quantidade e qualidade de água, e, finalmente, calcular o risco à segurança.

2.5 Gestão Ambiental de Bacias Hidrográficas e Gerenciamento de Recursos Hídricos

Para Machado (2012), um processo de gestão abarca administrar e gerenciar algo, quer seja uma empresa, uma entidade social ou uma instituição, no qual as pessoas são geridas, direcionadas e os negócios/produtos são produzidos. De maneira similar, a gestão territorial pode ser compreendida como a administração, planejamento, controle e ordenamento de um território pelas partes integrantes que envolvem seus interesses em determinado local; abarca gerenciar conflitos de interesse, garantir acesso aos recursos e ter visão a longo prazo (MACHADO, 2012).

A gestão de recursos hídricos com atuação direcionada territorialmente por bacias hidrográficas ganhou força no início da década de 1990 na preparação para a Rio-92 (PORTO; PORTO, 2008). A gestão de bacias hidrográficas tinha o enfoque de integrar todos os aspectos físicos, sociais e econômicos para que a gestão de recursos hídricos fosse eficiente (WMO, 1992).

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), Lei Federal nº 9.433/1997, em seu Art. 1º, fundamenta que a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da PNRH e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997).

Assim, no Brasil, a gestão de recursos hídricos é organizada por bacias hidrográficas em todo o território nacional (PORTO; PORTO, 2008). Ela perpassa pela gestão territorial, que envolve o diagnóstico do território (meio físico, flora, fauna, meio socioeconômico), a análise e reconhecimento de áreas prioritárias, vulneráveis e potenciais (zoneamento), a disciplina do ordenamento do território (atividades desenvolvidas na bacia, usos do solo, normatização) e a governança da bacia hidrográfica que executa a implementação de medidas corretivas, preventivas, monitoramento e acompanhamento da gestão do território (MACHADO, 2012; ROSS; DEL PRETTE, 1998).

Segundo Ross e Del Prette (1998), ainda há uma carência de políticas amplas e integrativas, que sejam um arcabouço de um planejamento estratégico de governança. Os

autores afirmam que a gestão ambiental deve convergir para a implementação de um Plano de Desenvolvimento Sustentável, que articule o desenvolvimento econômico e a melhoria progressiva do âmbito social e a adoção de políticas de preservação, conservação e restauração ambiental. Tal enfoque deve englobar não só a bacia hidrográfica, mas também a inserção regional e o contexto no qual a bacia hidrográfica está inserida (ROSS; DEL PRETTE, 1998).

A Figura 5 mostra um esquema que envolve a gestão territorial ambiental, tendo como referência a bacia hidrográfica, a sua relação com a sociedade e suas características físicas e bióticas. Em seguida, o esquema aborda o gerenciamento dos recursos hídricos, com enfoque para as demandas hídricas, outorgas e cobranças, legislações e qualidade da água. Esse esquema proporciona uma articulação mais ampla e participativa sobre o gerenciamento dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica.

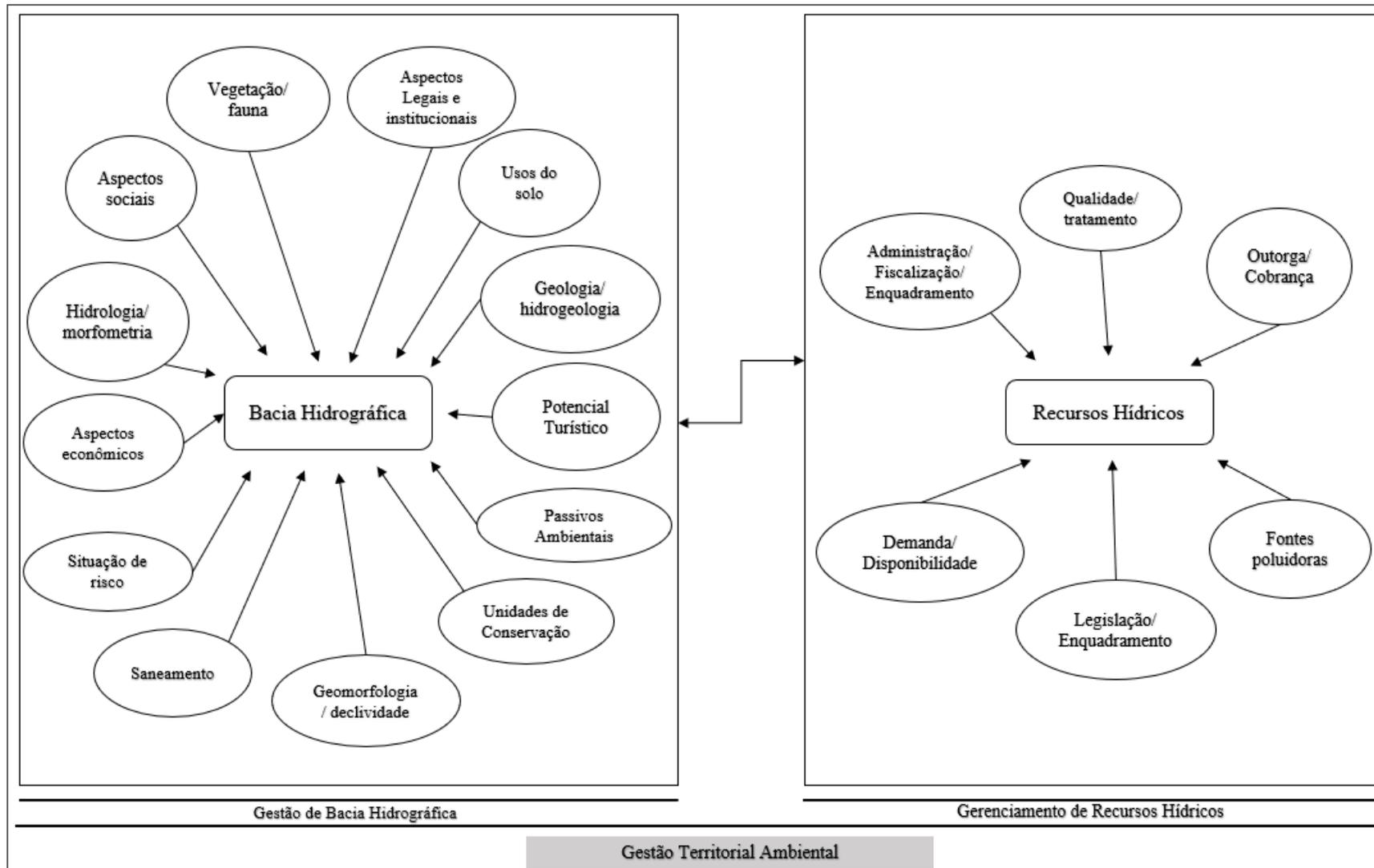


Figura 5: Fluxograma de Gestão Territorial Ambiental
 Fonte: Adaptado de Dill (2007) e Machado (2012).

No âmbito da gestão dos recursos hídricos, os Comitês de Bacias Hidrográficas têm a função de promover os debates, arbitrar conflitos pelos usos das águas, aprovar e acompanhar a execução de planos de recursos hídricos e estabelecer mecanismos de cobrança (BRASIL, 1997). Porém, os Comitês não tem atribuições para fazer a gestão territorial das bacias hidrográficas, cabendo aos municípios esta função, por meio dos instrumentos de planejamento municipal previstos na Lei Federal nº 10.257/2001 – Estatuto da Cidade (BRASIL, 2001).

As Agências de Água têm a função de secretaria executiva dos Comitês de Bacia Hidrográfica e atuam em um ou mais Comitês. Competem às Agências de água manter o balanço atualizado da disponibilidade hídrica, cadastrar os usuários de água, efetuar a cobrança dos recursos hídricos, acompanhar a administração financeira dos recursos arrecadados com as cobranças, gerir o Sistema de Informações dos Recursos Hídricos e promover e financiar os estudos necessários para a gestão dos recursos hídricos da bacia hidrográfica, inclusive os Planos de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997).

2.6 Gestão de Reservatórios de Acumulação de Água

A gestão dos reservatórios de acumulação de água tem a finalidade de regularizar as vazões naturais e diminuir os efeitos de eventos hidrológicos extremos de cheias a jusante, e compensar as deficiências nos períodos de estiagem (LOPES; SANTOS, 2002). As características de armazenamento de água dependem das condições topográficas (LOPES; SANTOS, 2002).

2.6.1 Nível D'Água Mínimo Operacional (NA_{min})

Segundo Lopes e Santos (2002), o NA_{min} é a cota mínima de operação dos reservatórios que define o limite superior do volume morto e o limite inferior do volume útil do reservatório. Geralmente, o NA_{min} está acima do limite superior da estrutura de tomada d'água, pois evita a formação de vórtices na entrada da tomada d'água (LOPES; SANTOS, 2002). Nesse limite, ainda é possível captar água sem necessidade de bombeamento (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

2.6.2 Volume Morto

O volume morto é a parcela de água inativa ou indisponível para captação e está compreendida abaixo do NA_{min} , isto é, abaixo da tomada d'água (LOPES; SANTOS, 2002). É um espaço reservado para o preenchimento pelos sedimentos que chegam na barragem (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013). Em situações de crise hídrica, através da instalação de bombas hidráulicas, os gestores hídricos podem captar a água do volume morto (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013). A Figura 6 ilustra a representação do volume morto do reservatório e do NA_{min} .

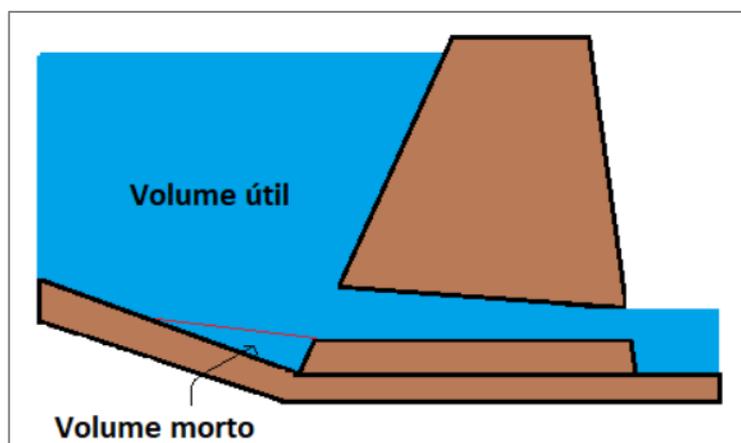


Figura 6: Representação do volume morto e do NA_{min} do reservatório
Fonte: Sousa (2015)

2.6.3 Nível D'Água Máximo Operacional (NA_{max})

Refere a cota máxima permitida para operação normal do reservatório, podendo coincidir com a crista do extravasor ou com a borda superior das comportas do vertedor; o NA_{max} define o limite superior do volume útil do reservatório (LOPES; SANTOS, 2002).

2.6.4 Volume Útil

Corresponde ao volume que está compreendido entre o NA_{min} e o NA_{max} , tratando-se do volume efetivo de operação do reservatório, que tem a função de atender às demandas dos diferentes usuários de água (LOPES; SANTOS, 2002). Segundo os mesmos autores, o volume útil deve considerar as perdas por infiltração e evaporação quando essas forem significativas.

2.6.5 Volume de Espera

Esse volume refere-se aquele para controle de cheias, sendo a parcela do volume útil do reservatório para o amortecimento das ondas de cheia, a fim de controlar a vazão a jusante e pode ser variável ao longo do ciclo hidrológico anual (LOPES; SANTOS, 2002; (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

2.6.6 Nível D'Água Máximo Maximorum (NA_{maxmax}) e Crista do Barramento

O NA_{maxmax} representa a sobrelevação máxima do nível d'água, medida a partir do NA_{max} , que está disponível para a passagem de uma onda de cheia (LOPES; SANTOS, 2002). Já a crista do barramento é a sobrelevação adicional ao NA_{maxmax} que pode ser denominado de borda livre (LOPES; SANTOS, 2002). Ela tem a função de impedir a passagem das ondas de vento e transbordamentos excepcionais sobre a crista da barragem (LOPES; SANTOS, 2002). A Figura 7 mostra o desenho esquemático de operação da barragem.

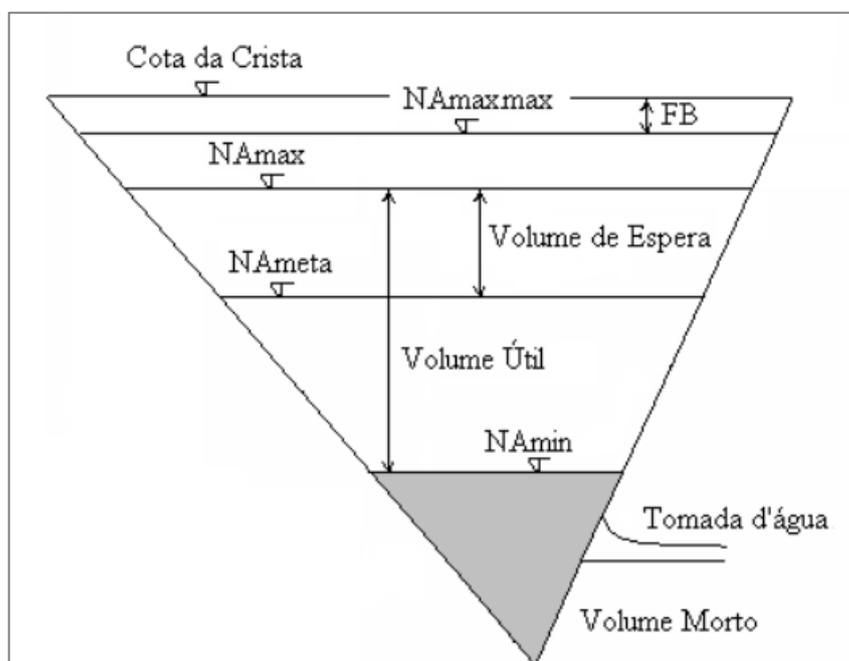


Figura 7: Representação dos níveis e volumes de água característico de um reservatório
Fonte: Lopes e Santos (2002)

2.6.7 Operação de Reservatórios de Acumulação de Água

Em reservatórios, há uma gama de diferentes regras operacionais, que tem por objetivo atender a demanda e requerimentos de vazão efluente (LOUCKS et al., 1981; MAYS; TUNG, 1992). Todavia, todas elas têm em comum a indicação do volume ou da vazão efluente que se pretende atingir em determinados períodos de tempo como diário, decenal, semanal ou mensal (LOUCKS et al., 1981).

Segundo Bravo et al. (2006), uma das regras de operação mais utilizadas é dividir o volume útil do reservatório em diferentes zonas. Para os autores, essas regras são chamadas de curvas-guia e tem a função de estabelecer políticas de descargas de água e cotas de níveis de água que visam objetivos específicos. A Figura 8 ilustra uma curva-guia parametrizada com 4 (quatro) zonas que representam as cotas operacionais dos reservatórios e, para cada zona, há variáveis para a tomada de decisão sobre o volume do reservatório.

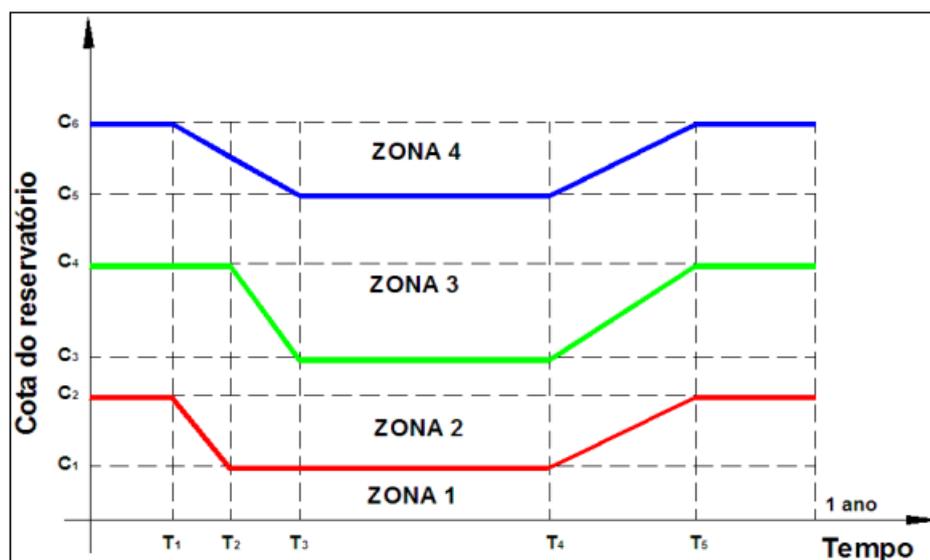


Figura 8: Exemplo de curva guia parametrizada
Fonte: Bravo et al. (2006)

Segundo ANA (2012a), pode ser constante ou sazonal a distribuição do volume útil nessas zonas. Para Nascimento (2018), a gestão do reservatório deve atender aos volumes anuais necessários para abastecimento humano, geração de energia elétrica e para controle de cheias e outros usos do reservatório. Por exemplo, antes de um período chuvoso, um reservatório que tenha a função de amortecimento de cheia deve ter uma folga suficiente para receber o volume de escoamento superficial provenientes de chuvas que irá ocorrer em

determinado momento do ciclo hidrológico anual (NASCIMENTO, 2018). A Figura 9 demonstra o esquema de uma curva-guia de gestão de reservatórios relacionados aos seus diferentes usos múltiplos e as condições climáticas esperadas para um ano comum.

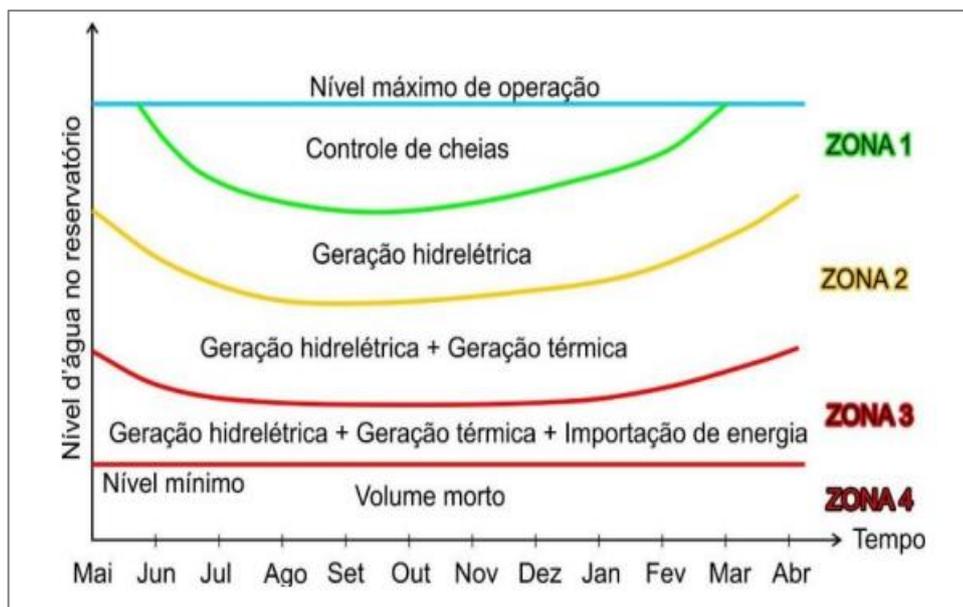


Figura 9: Curva-guia de gestão de reservatórios de água
Fonte: Bravo (2010)

Para ANA (2012a), há duas formas de operar os reservatórios:

- *Pack rule*: se houver um excesso de água, produzindo uma descarga acima do valor necessário. Essa água será empregada em benefício de mais disponibilidade para irrigação, produção de energia elétrica e/ou para abastecimento humano e animal. Ocorre uma redução da probabilidade de deflúvios futuros com essa liberação de espaço no reservatório;
- *Hedging rule*: se houver escassez de água, deve ser garantido um aumento do volume do armazenamento. Nesse sentido, uma redução preventiva no abastecimento é recomendada, para minimizar as chances de déficit severo no abastecimento no futuro.

O cálculo do zoneamento dos reservatórios contribui na definição dos estados de secas, isto é, um estado de seca está associado a cada zona do reservatório (RAMOS, 2017). A disponibilidade de água do reservatório, e a conseqüente necessidade ou não de redução da

demanda de uma cidade, dependerá da faixa de zona de armazenamento (RAMOS, 2017). Sendo assim, a liberação de água ou diminuição da disponibilidade constitui uma política de gestão do reservatório (RAMOS, 2017), e está interligada ao estresse hídrico por demanda para o abastecimento e ao estresse hídrico de eventos hidrológicos extremos. Haverá estresse hídrico por demanda se o reservatório atingir uma cota de nível d'água e um volume útil que obrigue a diminuição da captação que poderá gerar transtornos no abastecimento humano.

Ramos (2017) correlaciona os reservatórios na região Nordeste com cenários de seca e respectivas metas de gestão de resposta. Observa-se que, se o reservatório atingir 80% de volume total, um gatilho de resposta será disparado, com a necessidade de reduzir em 10% o volume captado no mês seguinte. Os gatilhos vão se tornando mais restritivos à medida que o reservatório está em estado de seca extrema, com capacidade de 30%; logo, a meta de captação deve ser reduzida em 60%, como mostra a Tabela 6.

Tabela 6: Cenários de gestão relacionados à seca em reservatórios

Cenários de Seca		
Estado	Gatilhos das Secas	Metas de Respostas
Alerta	80%	Redução 10% no consumo
Seca	60%	Redução 20% no consumo
Seca Severa	45%	Redução 30% no consumo
Seca Extrema	30%	Redução 60% no consumo

Fonte: Ramos (2017).

Devido à crise hídrica de 2013 a 2017, a ANA emitiu a Resolução Conjunta ANA/DAEE nº 925/2017, que dispõe sobre as condições de operação para o Sistema Cantareira na região metropolitana de São Paulo. Essa Resolução estabelece faixas de volume útil a serem monitorados, com limites de vazões de água a serem retirados pela SABESP (Tabela 7).

Tabela 7: Cenários de seca do Sistema Cantareira e ações de gestão

Cenários de Seca		
Faixas	Volume útil acumulado	Limite mensal vazão
1 - Normal	$\geq 60\%$	33,0 m ³ /s
2 - Atenção	$40\% \leq V_{\text{útil}} < 60\%$	31,0 m ³ /s
3 - Alerta	$30\% \leq V_{\text{útil}} < 40\%$	27,0 m ³ /s
4 - Restrição	$20\% \leq V_{\text{útil}} < 30\%$	23,0 m ³ /s
5 - Especial	Volume útil acumulado < 20%	15,5 m ³ /s

Fonte: ANA (2017).

Ações como as realizadas pela ANA em 2017 no Sistema Cantareira repetiram-se em 2021 e 2022 em outras bacias hidrográficas, tais como nos reservatórios de Furnas e Marechal

Mascarenhas de Moraes (ANA, 2021b) e nas usinas hidrelétricas da bacia hidrográfica do rio Paranapanema no Paraná e São Paulo (ANA, 2022b), devido à possibilidade de crises no setor por falta de energia elétrica.

Verifica-se que a gestão do volume útil e das cotas dos reservatórios é de suma importância no novo cenário mundial de aumento de demanda para atender aos diferentes usuários de água e das mudanças climáticas que ocasionam os eventos hidrológicos extremos.

Para Bravo et al. (2006), o balanço hídrico do reservatório define o volume e a cota ao longo de um período do tempo e depende de um conjunto de variáveis que envolvem as entradas e saídas de água. A Figura 10 demonstra as principais entradas e saídas de um reservatório que implicam em variáveis intervenientes na sua operação. Isto é, se as saídas de água forem maiores que as entradas por um período de tempo, poderá provocar desequilíbrio na oferta de água.

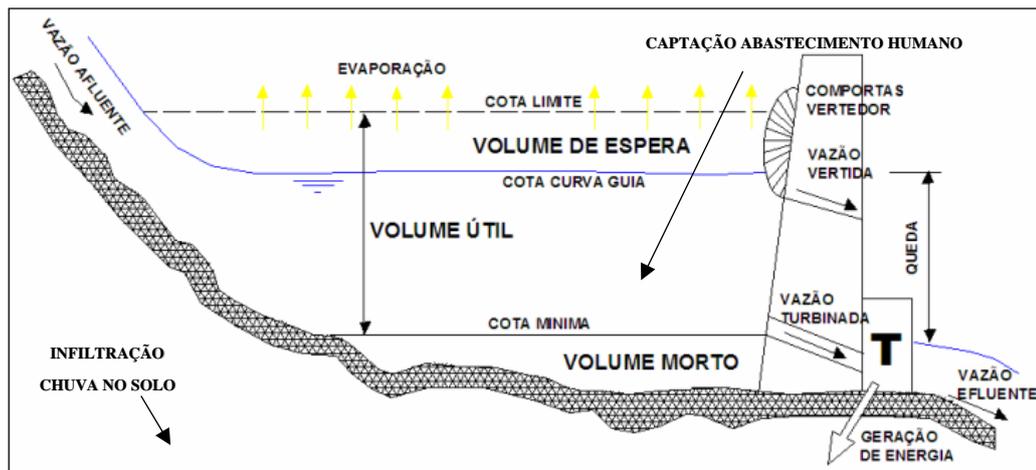


Figura 10: Principais entradas e saídas de água e fatores intervenientes em reservatórios
Fonte: Adaptado de Bravo et al. (2006)

3 CARACTERIZAÇÃO DO CONTEXTO DO ESTUDO

3.1 Contexto do Abastecimento de Água de Juiz de Fora – MG

A cidade de Juiz de Fora tem um sistema de abastecimento de água composto pelo Ribeirão Espírito Santo, a fio d'água, e pelas represas de São Pedro, João Penido e Chapéu d'Uvas (Figura 11).

Tanto a represa Dr. João Penido, construída exclusivamente para abastecer Juiz de Fora, quanto a represa São Pedro sofrem uma forte pressão antrópica (ROCHA et al., 2018). Além da especulação imobiliária, com a construção de condomínios e loteamentos em torno desses dois mananciais, há também impactos oriundos da construção de rodovias: na represa de São Pedro, a BR 040 e a BR 440 e, na represa Dr. João Penido, a BR 040 e a MG-353 (ROCHA et al., 2018). A junção dessas transformações do uso do solo, sem respeitar as áreas de preservação permanente, com os riscos de acidentes rodoviários vem provocando a perda da qualidade da água das represas e a diminuição da disponibilidade hídrica (ROCHA et al., 2018).

Essas circunstâncias fizeram a cidade de Juiz de Fora depender ainda mais das águas da represa de Chapéu D'Uvas para o abastecimento público. Segundo Rocha et al. (2018), o Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE) que apresenta melhores resultados de enquadramento de qualidade de água, entre os mananciais de abastecimento de Juiz de Fora, é da represa de Chapéu D'Uvas. No entanto, na pesquisa, os autores ponderam para a ascensão do processo de ocupação por loteamentos e condomínios, da expansão da silvicultura, criação de gado e solos expostos na bacia hidrográfica da referida represa.

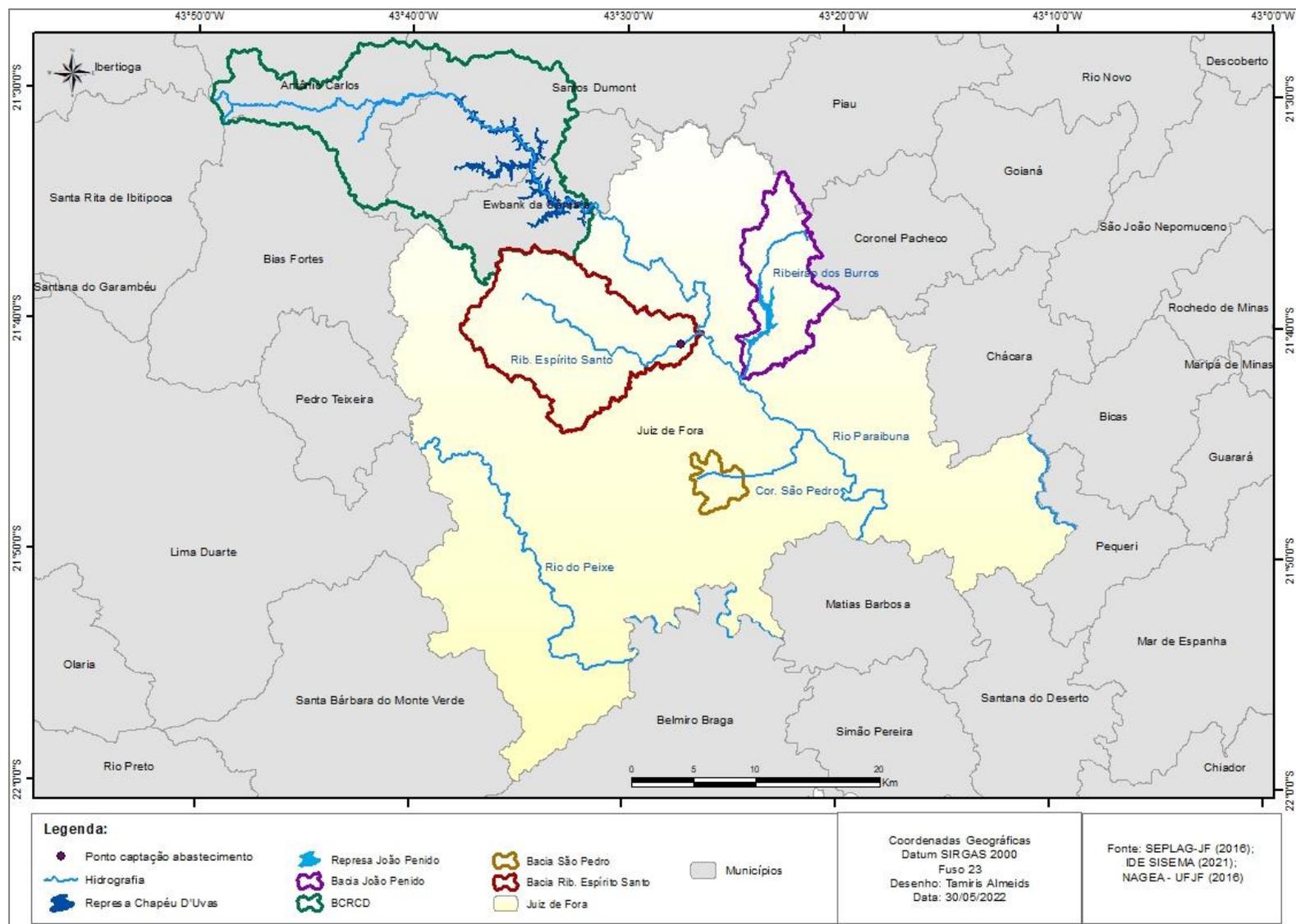


Figura 11: Mapa das bacias hidrográficas dos mananciais de abastecimento de Juiz de Fora – MG

A Figura 12 demonstra o esquema de abastecimento de água da cidade de Juiz de Fora, com as fontes de captação, a composição das três estações de tratamento e o sistema de distribuição de água tratada que interliga a região mais alta e mais baixa da cidade. Como o sistema São Pedro não consegue sozinho abastecer toda a cidade alta, foi necessária a construção de uma estação elevatória para conduzir água do sistema João Penido/Ribeirão Espírito Santo/Chapéu D’Uvas para atender à demanda dessa região, sendo uma das que mais tem processo de expansão urbana.

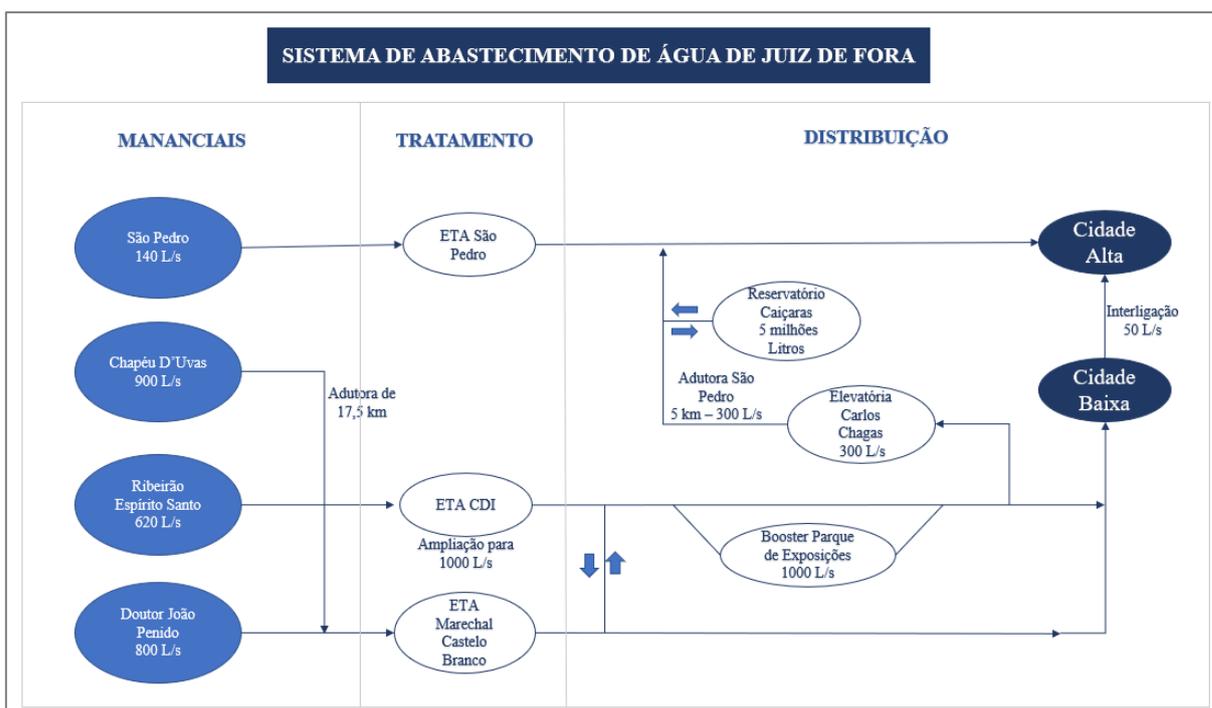


Figura 12: Sistema de abastecimento de água da cidade de Juiz de Fora
Fonte: CESAMA (2022a).

A ETA Walfredo de Machado Mendonça (ETA CDI), que recebe as águas da adutora de Chapéu D’Uvas e do Ribeirão Espírito Santo, é responsável pelo abastecimento de 40% da cidade; a ETA Marechal Castelo Branco, que recebe as águas da represa Dr. João Penido, abastece 50% da população; já a ETA São Pedro oferta 5,5% de água tratada; e os demais 4,5% são provenientes de poços profundos (CESAMA, 2022a; PREFEITURA JUIZ DE FORA, 2013).

A Tabela 8 apresenta os requerimentos de outorga para captação e abastecimento de água protocolados pela Cesama junto aos órgãos reguladores de recursos hídricos, IGAM e ANA. Enfatiza-se que a maior vazão solicitada é da Represa de Chapéu D’Uvas, que tem o objetivo de atender as demandas atuais e futuras da cidade.

Tabela 8: Dados de outorgas concedidas à Cesama para abastecimento de água da cidade de Juiz de Fora

Processo	Requerente	Atividade	Curso d'água	Manancial	Vazão (m ³ /s)	Enquadramento corpo hídrico segundo o COPAM n° 16/1996
IGAM n° 115/2001	Cesama	Abastecimento	Ribeirão dos Pintos	Rep. Dr. João Penido	0,75	Classe 1
IGAM n° 114/2001	Cesama	Captação e abastecimento	Ribeirão Espírito Santo	Rib. Espírito Santo	0,30	Classe 1
IGAM n° 113/2001	Cesama	Abastecimento	Córrego São Pedro	Rep. São Pedro	0,04	Classe 1
ANA n° 773/2015	Cesama	Captação	Rio Paraibuna	Rep. Chapéu D'Uvas	2,257	Classe 1

Fonte: Prefeitura Juiz de Fora (2013) e ANA (2022a).

A Figura 13 ilustra a representatividade em porcentagem das vazões outorgadas dos mananciais. Observa-se que a represa de Chapéu D'Uvas detém 68% do total de vazões solicitadas ao órgão gestor de recursos hídricos, o que demonstra a tamanha importância desse manancial em volume disponível no contexto do abastecimento de água da cidade.

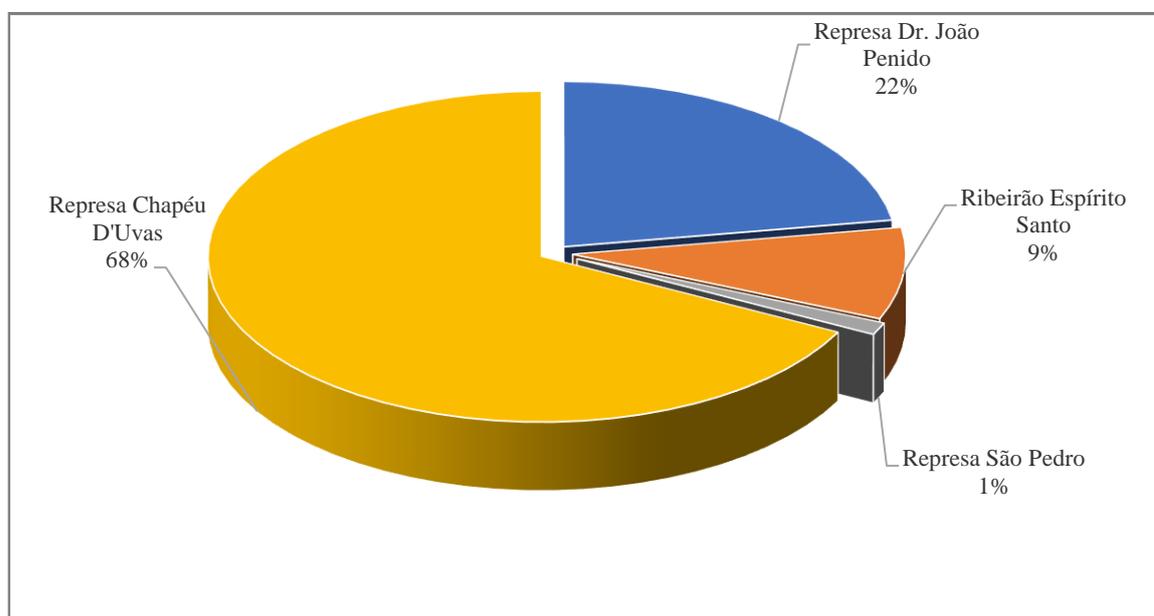


Figura 13: Representatividade das vazões outorgadas dos mananciais de abastecimento

De acordo com a revisão do Plano de Saneamento Básico de Juiz de Fora, realizado no ano de 2022, a projeção de demanda máxima de água até 2042 para o pior cenário analisado, no qual o consumo per capita chega a 156 L/hab.dia e o índice de perdas é de 33,80%, a vazão de demanda poderá chegar na ordem de 1.973,08 L/s (AMPLA, 2022). Pelas outorgas

concedidas ao município para atender somente a região urbana, sem levar em consideração os distritos do município, as vazões outorga somam um total de 3.347 L/s e a capacidade instalada das ETA's de 2.460 L/s (CESAMA, 2022a; AMPLA, 2022), como demonstraram a Tabela 11 e as Figuras 12 e 13. Nesse sentido, as vazões outorgadas e a capacidade instalada das ETA's atendem ao pior cenário de demanda da cidade para o ano de 2042. Destaca-se que havendo necessidade de maiores vazões para abastecimento, estas deverão ser captadas na represa de Chapéu D'Uvas, que tem as condições de atender as demandas futuras.

3.2 Localização da BCRC

A BCRC está localizada na sub bacia do rio Preto e Paraibuna e na parte mineira da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (Figura 14). A bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul tem uma importância estratégica para a região Sudeste, pois alguns dos maiores polos industriais e populacionais do Brasil estão compreendidos em seu território. A bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul está 39% no território do estado do Rio de Janeiro, 37% no estado de Minas Gerais e 24% no estado de São Paulo (CAVALCANTI; MARQUES, 2016).

O rio Paraíba do Sul nasce na Serra da Bocaina, divisa entre os estados de São Paulo e Rio de Janeiro, recebe as águas do rio Preto, Paraibuna, Peixe, Cágado e Paraitinga, percorrendo 1.200 km até chegar na sua foz no município de São João da Barra – RJ (CAVALCANTI; MARQUES, 2016).

Já o rio Paraibuna, principal afluente formador da represa de Chapéu D'Uvas, nasce na Serra da Mantiqueira, no município de Antônio Carlos-MG, e possui uma bacia hidrográfica de 8.558km² (MACHADO, 2012). Faz divisa entre os estados de Minas Gerais e Rio de Janeiro, recebendo importantes afluentes do rio Preto, Peixe e Cágado, que deságuam na margem esquerda do rio Paraíba do Sul, próximo de Chiador (MG) e Três Rios (RJ) (MACHADO, 2012).

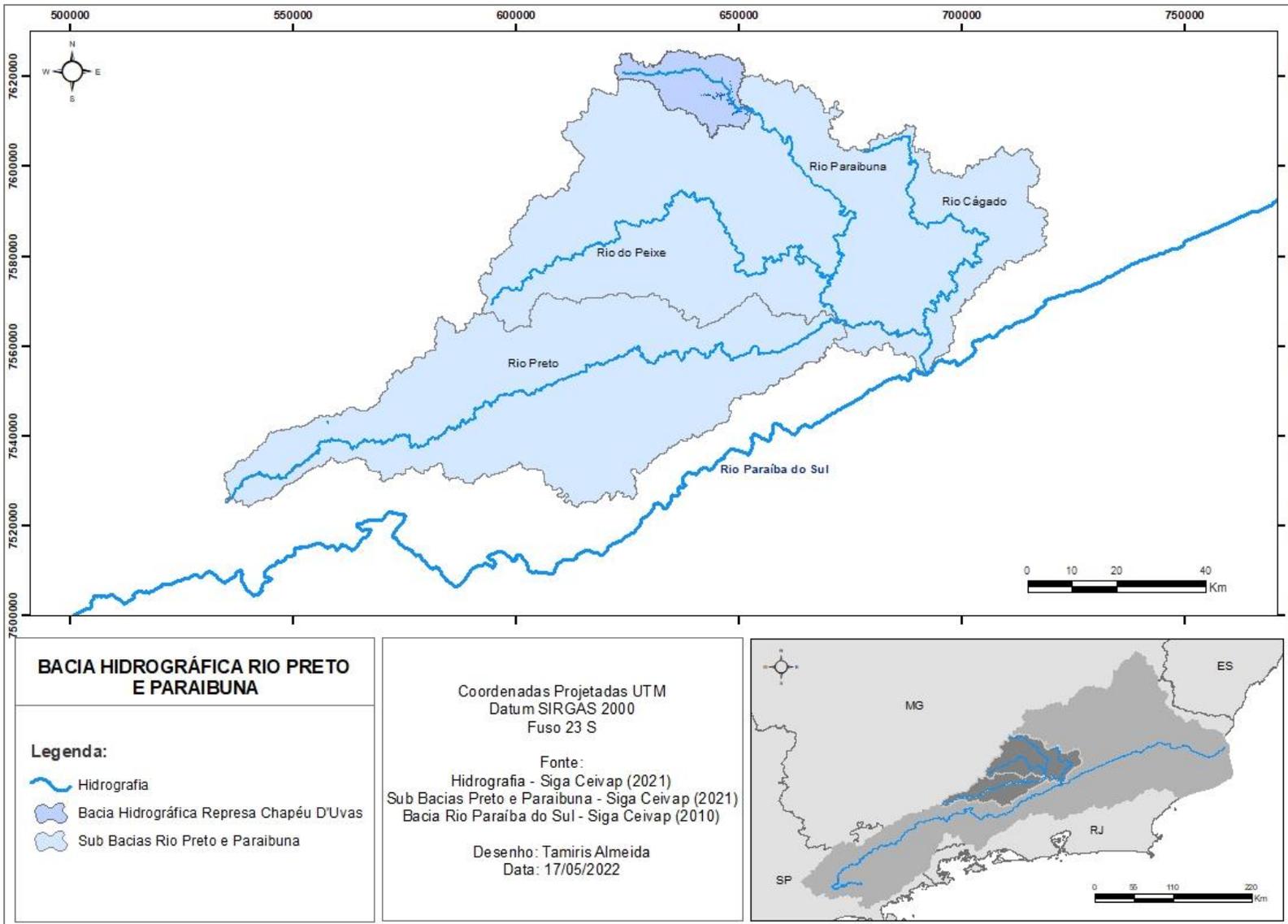


Figura 14: Bacia hidrográfica dos rios Preto e Paraíba

A Figura 15 mostra a localização da BCRCO, no contexto político administrativo dos municípios que ela abrange, ocupando uma área de 313,23km². É um manancial estratégico para o abastecimento público de água da cidade de Juiz de Fora. Entretanto, a bacia hidrográfica, a represa e a barragem estão localizadas em outros municípios. A barragem está situada no município de Ewbank da Câmara que ocupa 20,7% da bacia hidrográfica, Santos Dumont detém 44% do território da bacia e Antônio Carlos 35,3% da BCRCO. A cidade de Juiz de Fora está a jusante, ocupando a maior área urbana da Zona da Mata mineira, e faz divisa com uma parte do perímetro da BCRCO.

A Tabela 9 mostra a situação atual dos municípios abrangidos pela BCRCO com relação aos planos diretores e planos de saneamento básico.

Tabela 9: Status dos municípios da BCRCO sobre planos diretores e de saneamento

Municípios	Possui Plano Diretor?	Possui Plano de Saneamento Básico?
Antônio Carlos	Sim	Sim
Ewbank da Câmara	Sim	Sim
Santos Dumont	Sim	Sim

Fonte: Perfil (2021).

No ano de 2021, foi efetuada a revisão do Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul (PIRH-PS), referente ao Plano Diretor da bacia hidrográfica dos rios Preto e Paraibuna (PDRH-PS1), no qual a BCRCO está situada. A Tabela 10 apresenta as propostas de diretrizes do PIRH-PS1 com relação a áreas sujeitas a restrição de uso e áreas prioritárias para investimentos em saneamento e recomposição de vegetação. Somente para o município de Ewbank da Câmara está previsto ações com relação ao saneamento, não se aplicando aos demais municípios da BCRCO, que são Antônio Carlos e Santos Dumont. Sobre as áreas prioritárias para recomposição da vegetação, pelo programa do IEF, estão previstas ações na região oeste da BCRCO, no município de Antônio Carlos, onde está localizada a nascente do rio Paraibuna. Todavia, o PIRH-PS1 não explica como se dará essas ações.

Com relação as áreas prioritárias e de uso restrito sobre o balanço hídrico qualitativo, não se aplica aos municípios da BCRCO, visto que os objetivos são direcionados para áreas que detenham empreendimentos de alto impacto ambiental, no caso as hidrelétricas.

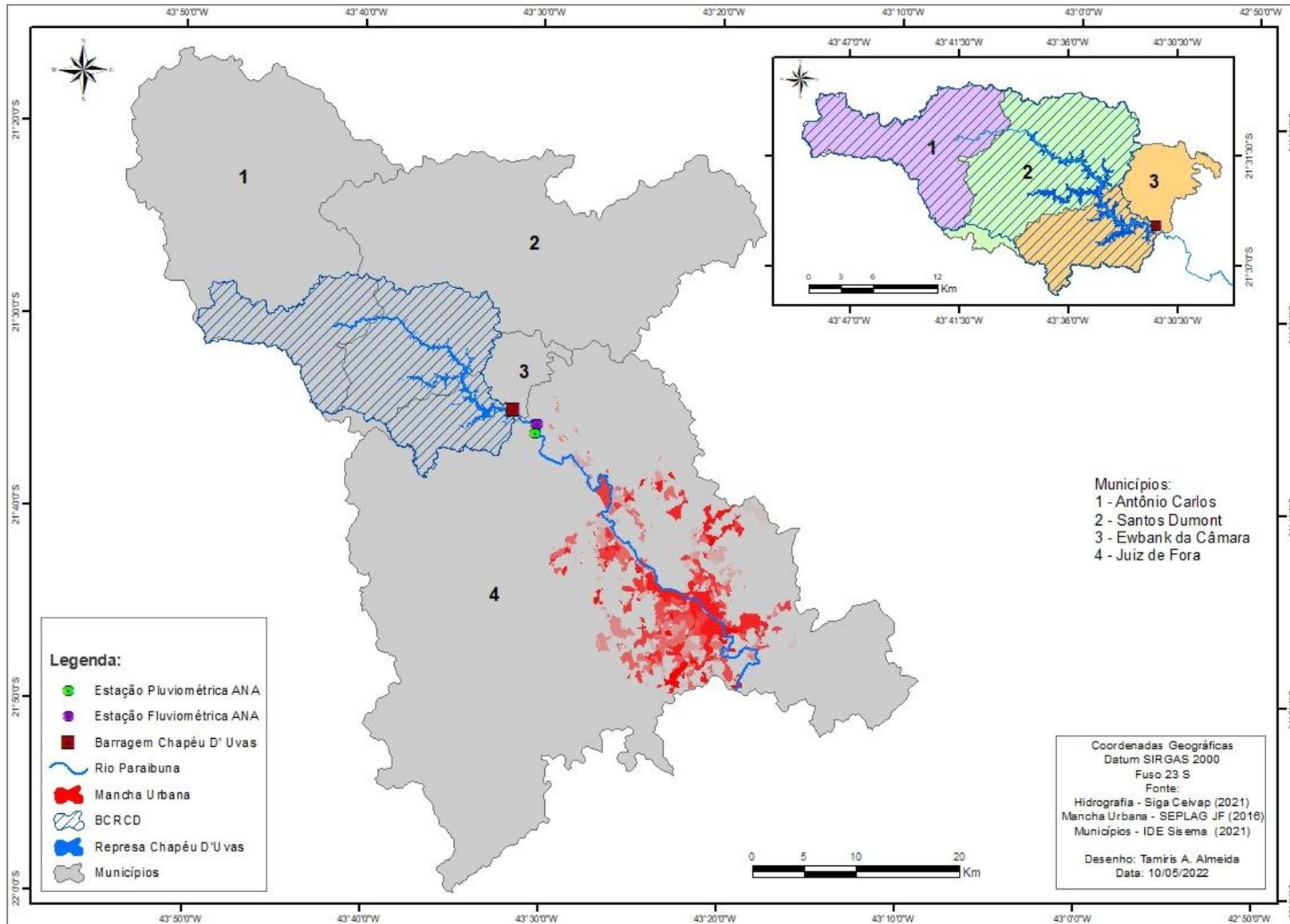


Figura 15: Localização político administrativa da BCRCD

Tabela 10: Diretrizes propostas pelo PIRH – PS1

Diretrizes	Objetivos	Proposta de ações para a BCRC
Áreas sujeitas a restrição de uso	Direcionar a atenção dos órgãos gestores quanto à aplicação dos instrumentos de gestão em regiões críticas sob o ponto de vista de balanço hídrico quali-quantitativo ou de interesse por conta da presença de empreendimentos potencialmente impactantes para os recursos hídricos, no caso da OS1, a concentração de hidrelétricas.	Não se aplica aos municípios que abrangem a BCRC
Áreas prioritárias	Determinar áreas prioritárias para investimentos em saneamento, bem como para o restabelecimento da cobertura florestal nativa em bacias hidrográficas se constitui numa necessidade diretamente associada à probabilidade de sucesso efetivo na melhoria da qualidade e quantidade da água.	Ewbank da Câmara é uma área prioritária para investimentos em saneamento. Sobre as áreas prioritárias para recomposição florestal, a região da BCRC não faz parte do projeto de Conexão Mata Atlântica. Já pelo programa de recomposição e restauração florestal definidos pelo IEF a região oeste da BCRC onde está localizada a nascente do rio Paraibuna está contemplada no programa

Fonte: Perfil (2021).

O trecho do rio Paraibuna compreendido na BCRC está na lista da Matriz Preliminar para avaliação de alteração no enquadramento existente na bacia hidrográfica dos rios Preto e Paraibuna (PS1), considerando a vazão de referência $Q_{7,10}$, a qual foi elaborada durante a Fase I do PIRH-PS (2021). Atualmente, a represa de Chapéu D’Uvas está compreendida na Classe 1, segundo a Deliberação Normativa do COPAM nº 16/1996.

Com relação aos programas e ações do PIRH-PS1 (PROFIL, 2021), há uma agenda específica referente a BCRC. Trata-se da Agenda 01 – Gestão de Recursos Hídricos, referente ao programa de compatibilização dos interesses internos e externos, por meio da ação de manter o Grupo de Trabalho (GT) para a realização de estudos preliminares para a criação de Consórcio Público de Gestão Compartilhada da Represa de Chapéu D’Uvas/MG – GT CONCHA.

Na Tabela 11, está elencado um conjunto de programas e ações previstas no PIRH-PS1 (PROFIL, 2021) que podem ser direcionados para BCRC com vistas a ações de ordenamento territorial e manejo do solo da bacia hidrográfica. Se aplicados, esses programas e ações podem contribuir com a segurança hídrica da BCRC para o abastecimento de água da cidade de Juiz de Fora. Porém, para serem aplicados esses programas, é necessária uma conjuntura de ações dos gestores públicos da região para solicitar a inclusão da BCRC no orçamento.

Tabela 11: Agendas do PDRH-PS1 que podem ser direcionadas à segurança hídrica

Agendas do PDRH-OS1	Programas	Ações	Metas
Agenda 01: Gestão de Recursos Hídricos	Compatibilização dos Interesses Internos e Externos da Bacia	Manter Grupo de Trabalho para a realização de estudos preliminares para a criação de Consórcio Público de Gestão Compartilhada da Represa de Chapéu D'Uvas/MG – GT CONCHA.	Manter o GT CONCHA
	Enquadramento	Viabilizar estudos técnicos iniciais para construção da proposta de enquadramento	Conclusão do estudo técnico inicial para construção da proposta de enquadramento, há uma proposta de revisão do enquadramento para a região da BCRC
	Criação de Áreas de Restrição de Uso e Indicação de Manejos Diferenciados	Estudar, pactuar e propor a criação de Áreas de Restrição de Uso e definir as necessidades de manejo diferenciado do uso da água	Estudo e proposta de áreas sujeitas à restrição de uso
Agenda 04: Infraestruturas Verdes	Ações de planejamento das intervenções	Fomentar a discussão sobre o ordenamento territorial, expansão urbana e condições de manejo do solo em área rural	Realização de 5 eventos de discussão sobre o ordenamento territorial, expansão urbana e condições de manejo do solo em área rural, durante a vigência do PIRH-PS1
	Ações de planejamento das intervenções	Formalizar a indicação de bacias hidrográficas prioritárias para elaboração de estudos, planos e projetos com vistas à recuperação ambiental voltada à preservação dos recursos hídricos	Formalização das bacias hidrográficas prioritárias

Fonte: Perfil (2021).

3.3 Hidrografia da BCRC

A BCRC tem uma rede de drenagem de padrão dendrítico, que se assemelha a configuração de uma árvore. O rio Paraibuna é o principal rio da bacia hidrográfica, a nascente está localizada no município de Antônio Carlos, onde ainda recebe o nome de córrego Campinho, até alcançar a confluência com o Córrego Ponte Funda, passando a ter esse nome; trajeto tem características de ser bastante encachoeirado, saindo da cota 1.174m para a cota 997 m , sofrendo um desnível de 177m (MACHADO, 2012). A partir do encontro com o córrego São José, a denominação do curso d'água principal passa a ser rio Paraibuna até iniciar a represa Chapéu D'Uvas.

Machado (2012) explica que devido às características morfológicas da BCRC, de uma paisagem de vales estreitos, morros altos e encostas de elevada declividade, condiz com canais fluviais mais profundos e menos largos. Logo, os gradientes de velocidade da água são mais elevados, principalmente nas cabeceiras, e, com isso, o transporte de sedimentos e as erosões

são acentuadas. Como toda a água é drenada para a represa Chapéu D’Uvas, conjecturasse que os sedimentos são transportados e contribuem para o assoreamento da represa (MACHADO, 2012).

Segundo Machado (2012), a represa Chapéu D’Uvas é alimentada por 987 nascentes mapeadas pelas cartas do IBGE, que formam 117 microbacias de baixa hierarquia. Ressaltam-se nessa dissertação 13 sub-bacias, denominadas de Unidades Hidrográficas (UH) por Machado (2012), que compreendem esse conjunto de microbacias da BCRC. Machado (2012) dividiu as microbacias da BCRC em unidades hidrográficas para realizar o estudo de vulnerabilidade físico-ambiental e socioeconômica. Dessa forma, dividiu a BCRC em zonas física hídricas, fazendo a junção de micro bacias até a 3ª ordem, seguindo a metodologia de dividir em unidades hidrográficas da margem direita (BD) e margem esquerda (BE) do rio Paraíba e do represamento do mesmo rio, a represa Chapéu D’Uvas, exceto as nascentes do rio Paraíba, compreendidas pelas microbacias dos córregos Campinho e Ponte Funda, denominada de unidade hidrográfica B 01. A Tabela 12 apresenta essas unidades hidrográficas com a quantificação de área e descrição. Já a Figura 16 mostra a configuração dessas unidades hidrográficas e toda a rede de drenagem espacializadas na BCRC na escala de 1:50.000.

Tabela 12: Descrição das unidades hidrográficas da BCRC

Unidades hidrográficas	Área (km²)	Descrição da formação
B 01	4,69	Nascentes do rio Paraíba, formada pelas bacias dos córregos Campinho e Ponte Funda
BD 02	12,29	Formada por pequenas bacias de córregos de 1ª a 3ª ordens
BD 03	21,91	Bacias dos córregos da Cachoeira, Jacutinga, São José e bacias de pequenos córregos de baixa hierarquia
BD 04	25,49	Bacia do córrego Três Pontes e outras pequenas bacias de córregos de hierarquia mais baixa
BD 05	65,82	Bacia do Ribeirão São Bento
BD 06	26,19	Bacia do córrego Goiabeira e pequenas bacias de 1ª e 2ª ordens
BD 07	30,75	Bacias do Ribeirão Lambari, do córrego São Firmino e outras pequenas bacias de córregos de baixa hierarquia
BE 08	10,67	Bacia do córrego do Barulho e de dois córregos de 1ª ordem
BE 09	24,36	Bacias dos córregos Picumã, Milho Branco e Três Pontes e outras pequenas bacias de córregos de 1ª e 2ª ordens
BE 10	20,1	Bacia do Córrego Passa Três
BE 11	37,09	Bacias dos córregos Samambaia, Zíper, Crimonoso, Cachoeira e outras bacias de córregos de hierarquia baixa
BE 12	25,93	Bacia do rio Taquaruçu
BE 13	7,94	Formada por pequenas bacias de córregos de 1ª e 2ª ordens

Fonte: Machado (2012).

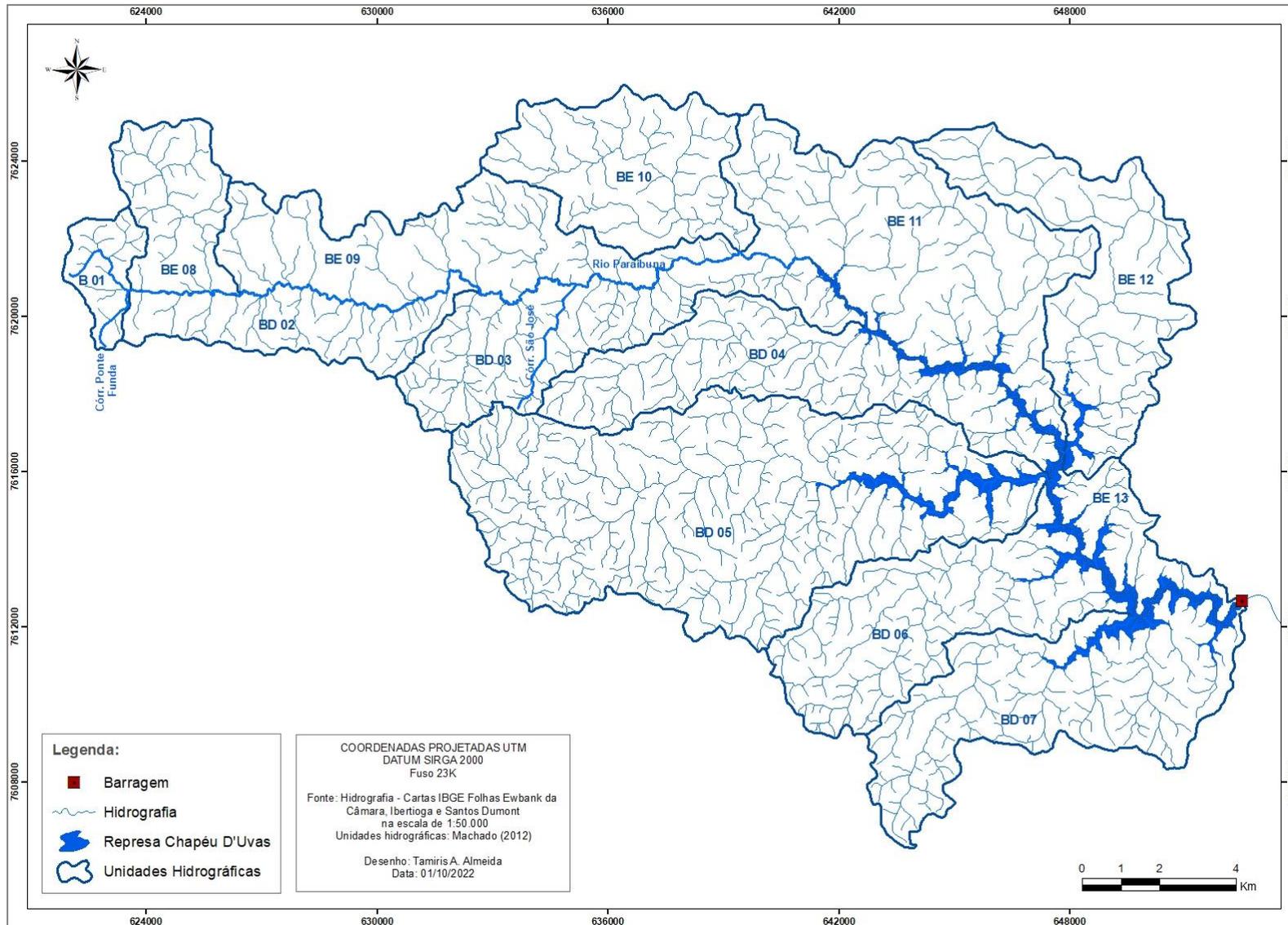


Figura 16: Rede de drenagem e unidades hidrográficas da BCRCD

3.4 Características da Barragem da Represa de Chapéu D’Uvas

O custo estimado para construção da barragem de Chapéu D’Uvas foi em torno de U\$\$ 100 milhões e 54 anos para execução completa do projeto (1940-1994). A Tabela 13 demonstra os dados gerais do projeto da represa e da bacia de contribuição. Já a Tabela 14 apresenta as características técnicas e operacionais da barragem de Chapéu D’Uvas. Ela tem uma capacidade de armazenar $140,0 \times 10^6 \text{ m}^3$ de volume de água.

Tabela 13: Dados sobre as características do Projeto da Barragem de Chapéu D’Uvas

Características do Projeto	Dimensões
Volume máximo acumulado (NA normal 740 m)	$140,0 \times 10^6 \text{ m}^3$
Volume para amortecimento de cheias (entre a cota 740 m e 741 m)	$11,0 \times 10^6 \text{ m}^3$
Descarga regularizada	$5,5 \text{ m}^3/\text{s}$
Descarga mínima de enchimento e operação	$2,2 \text{ m}^3/\text{s}$
NA médio operacional	732,0 m
Profundidade máxima	41,0 m
Extensão da represa (cota máxima 741 m)	23,37 km
Bacia hidráulica	$11,5 \text{ km}^2$
Bacia de contribuição **	$313,23 \text{ km}^2$
Distância da barragem até o centro de Juiz de Fora	41,0 km
Distância da barragem até a nascente do rio Paraibuna	50,41 km
Aduutora (distância barragem até a ETA Walfrido Mendonça)	17.735 m

Fonte: Sondatécnica (1975); Minter/DNOS (1976); Serra Azul Engenharia (1995); Magna Engenharia (2003); Engesolo (2007) citados por Machado (2012) e Oliveira (2018)

**Realizada a delimitação da bacia hidrográfica nessa dissertação (2022)

Tabela 14: Características técnicas e operacionais da barragem de Chapéu D'Uvas

Descrição das características operacionais e técnicas	
Barragem principal	Barragem de enrocamento com um volume de 1.300.000m ³ de solo residual compactado. Tem 40m de altura máxima e 350 m de comprimento, largura da crista de 11m na cota 745,5m. A fundação é sobre rochas o eixo é quase perpendicular ao curso principal do rio Paraibuna
Barragem secundária	Barragem de enrocamento com um volume de 30.000m ³ de solo residual. Altura máxima de 10m, comprimento e largura da crista 120m e 6m, respectivamente e cota de coroamento em 745,5m. Objetivo: fechar uma pequena garganta à margem direita, próxima ao eixo principal da barragem. Seu eixo faz 45° com eixo principal da barragem
Vertedor de emergência	Projetado para uma onda de cheia de 2.000 m ³ /s, a cota da crista é de 744,25m. É controlado por um dique fusível de 220m de extensão
Vertedor de serviço (tulipa)	Construído de concreto armado com diâmetro de 15m na crista, capacidade de uma vazão máxima de 350m ³ /s, encontra-se na cota 741 m. Á água é transportada por um túnel escavado na encosta, com 6m de diâmetro e 158m de comprimento
Dissipador de energia	Tem 100m de comprimento e 15m de altura, a largura varia de 6m a 12m. A soleira inicial está na cota 705,3m e alcança uma cota inferior 695,0m.
Tomada d'água	Tem uma altura de 42,7m e 12 m de largura e dispositivo de fechamento através de comportas

Fonte: Sondatécnica (1975); Minter/DNOS (1976); Serra Azul Engenharia (1995); Magna Engenharia (2003); Engesolo (2007) citados por Machado (2012).

A Figura 17 apresenta a planta geral da barragem da represa, com a tomada d'água, o vertedor de emergência, a barragem principal e secundária e o dissipador de energia.

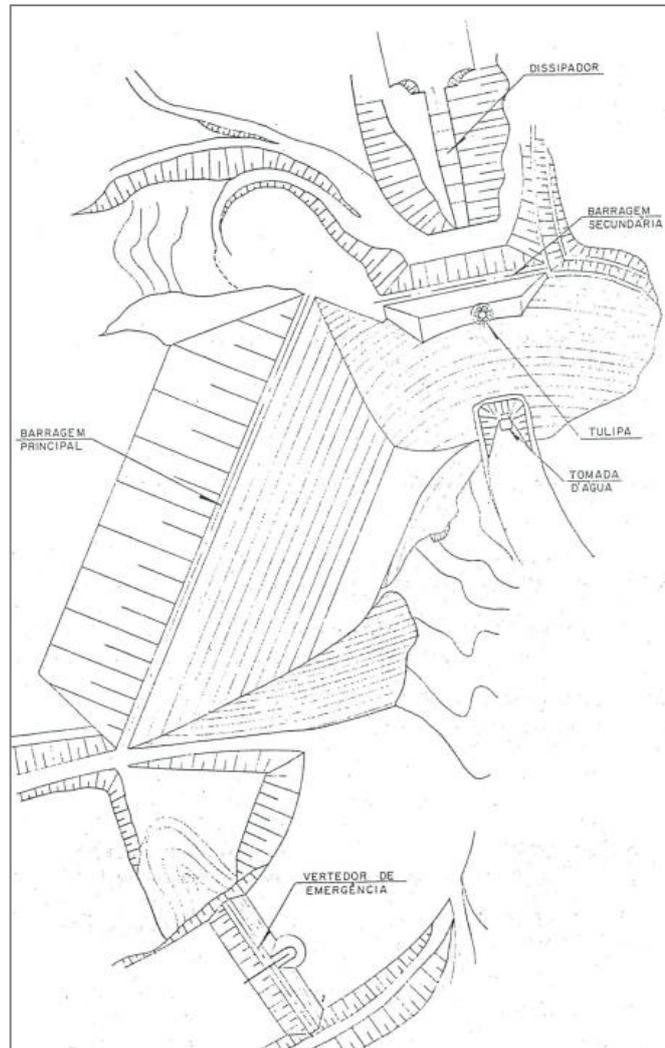


Figura 17: Planta da barragem de Chapéu D'Uvas
 Fonte: Machado (2012).

Para a operação da barragem, a Cesama trabalha com cotas e volumes, conforme demonstra a Tabela 15. Esse sistema operacional tem a função de amortecer ondas de cheia e perenizar o uso do manancial de abastecimento.

Tabela 15: Cotas e volumes de operação da barragem de Chapéu D'Uvas pela Cesama

Grandeza	Medida
Cota mínima de operação	715,0 m
Cota mínima de operação de captação adutora	720,0 m
Volume mínimo de operação	$10 \times 10^6 \text{ m}^3$
Cota máxima de operação	741,0 m
Volume máximo de operação	$137 \times 10^6 \text{ m}^3$
Volume útil	$127 \times 10^6 \text{ m}^3$
Cota mínima	711,46 m
Volume morto	$10 \times 10^6 \text{ m}^3$

Fonte: Oliveira (2018).

3.5 Histórico sobre a Qualidade da Água da Represa de Chapéu D’Uvas

A qualidade da água da sub bacia do rio Paraibuna é uma das piores de toda a bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, principalmente a jusante da área urbana de Juiz de Fora, em função do despejo de efluentes domésticos e industriais. Todavia a qualidade da água do trecho do rio Paraibuna localizado na BCRCDD tinha uma qualidade melhor, se tratando de um trecho rural (RIBEIRO, 2012).

A Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) realizou, em 2002, uma análise da represa de Chapéu D’Uvas, a fim verificar a qualidade da água para fins de captação para abastecimento humano da cidade de Juiz de Fora. A COPASA concluiu que a represa passava por um acentuado processo de eutrofização, característica de ambientes lânticos em processo de maturação (MAGNA ENGENHARIA, 2003).

Segundo a Magna Engenharia (2003), as características físico-químicas da água da represa apresentaram valores dentro da normalidade; entretanto, há proliferação de cianobactérias e de toxicidade devido à floração desses organismos era alta. A Magna Engenharia (2003) afirmou ainda que foram identificados despejos de efluentes domésticos nos afluentes e na represa.

Machado e Silva (2007) enfatizaram uma matéria publicada pelo Jornal Tribuna de Minas, de 22 de março de 2002, no qual destaca a presença da alga *Cylindrospermopsis raciborskii* nas águas da represa de Chapéu D’Uvas. Os mesmos autores afirmam que esse tipo de alga produz uma cianotoxina que pode causar problemas hepáticos e neurológicos. Além disso, sistemas convencionais de tratamento de água, compostos por uma fase física e outra biológica, não conseguem tratar a água que tenha a presença dessa cianotoxina, sendo necessária uma etapa de tratamento químico (MACHADO; SILVA, 2007).

Segundo Silva (2007), não foi retirada a vegetação da região que hoje é ocupada pelo lago da represa de Chapéu D’Uvas; com isso, a matéria orgânica presente entrou em decomposição, forneceu nitrogênio e fósforo para as algas, provocando a proliferação desses organismos, tornando-se um problema para o gerenciamento da qualidade da água da represa.

Oliveira (2018), em sua tese de doutorado, realizou uma pesquisa de qualidade da água na represa de Chapéu D’Uvas, por meio da aplicação da metodologia de limnologia da paisagem com uso de regressão geograficamente ponderada, que correlaciona a qualidade da água com o uso do solo. Esta pesquisa utilizou 132 observações de 8 parâmetros (cor, turbidez, ferro, cloretos, dureza, DBO, coliformes totais, *E. coli*, *D. cianobactérias*) dos dados históricos

(2005-2017) da concessionária de água da Cesama, do ponto de captação da empresa, localizado próximo da barragem, no município de Ewbank da Câmara. Complementarmente, realizou 4 campanhas de coleta de água em 9 pontos de coleta entre 2016 e 2017, sendo 6 na foz dos tributários da represa, 1 no médio curso da represa, 1 ponto no exutório do rio Paraibuna e 1 ponto de coleta no local de captação de água da Cesama para abastecimento humano de Juiz de Fora (Figura 18).

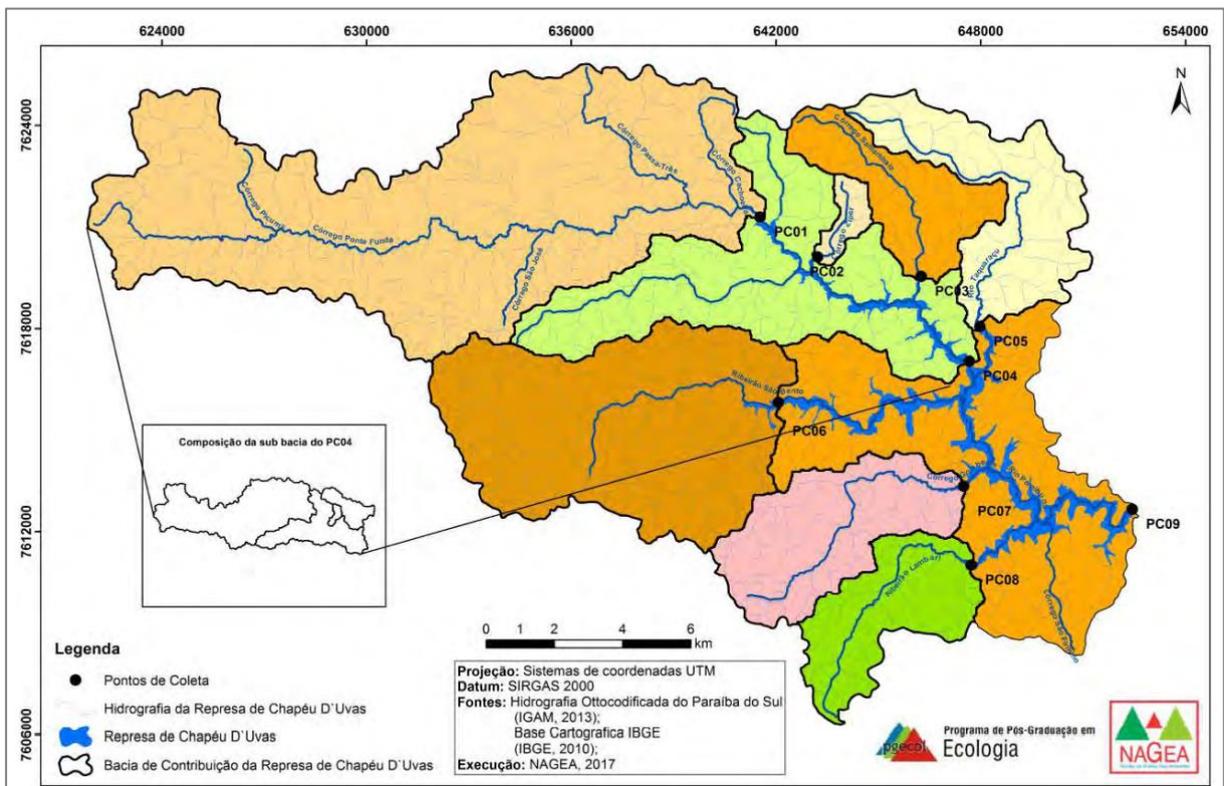


Figura 18: Localização dos pontos de coleta da campanha 2016-2017 na BCRCD
Fonte: Oliveira (2018)

A Tabela 16 apresenta a comparação da mediana por parâmetro dos resultados das análises de qualidade da água dos dados históricos de monitoramento do ponto de captação da Cesama e os resultados das 4 campanhas realizadas por Oliveira (2018) durante a elaboração da pesquisa.

Tabela 16: Comparação das medianas dos parâmetros de qualidade da água por conjunto de dados

Parâmetro	Unidade	Histórico Cesama (2005-2017)	Campanha (2016-2017)
Cor	uH	5,40	2,5
Turbidez	UNT	2,57	5,55
Ferro	mg/L	0,08	0,86
Cloretos	mg/L	<6,00	<6,00
Dureza	mg/L	7,60	8,40
Oxigênio consumido	mg/L	1,10	2,00
DBO	mg/L	12,00	<12,00
Coliformes Totais	NMP/100ml	2.419	14.000
<i>Escherichia Coli</i>	NMP/100ml	3,10	86,00
Densidade Cianobactérias	células/ml	1.548	0

Fonte: Oliveira (2018)

Percebe-se que a mediana da turbidez das amostras das campanhas estiveram maiores que as amostras do histórico da Cesama, e esse fato pode ser explicado pelos pontos de amostragem da campanha serem rasos. Oliveira (2018) ressalta que os sólidos inorgânicos são mais frequentes nessas condições, diferentemente dentro da represa, onde a turbidez está mais associada às partículas orgânicas. As medianas de ferro também foram maiores para os resultados da campanha do autor. Os solos da região são ricos em óxido ferroso e as leituras mais altas foram na foz dos tributários, que estão mais sujeitos aos arrastes de partículas do solo (OLIVEIRA, 2018).

A dureza também apresentou resultados maiores da mediana nos dados de campanha; o autor descreve que o ponto PC02 provavelmente recebe descargas de efluentes de laticínio, entretanto, o resultado do Teste Wilcoxon-Mann-Whitney indicou que não há evidência empírica para suportar a hipótese de que as medianas dos dois conjuntos de dados são diferentes; logo, o intervalo é praticamente insignificante frente às leituras registradas (OLIVEIRA, 2018).

Oliveira (2018) explica que o oxigênio consumido obteve as médias maiores nos resultados dos dados de campanha dos tributários, indicando um aporte de carga orgânica para o lago da represa de Chapéu D'Uvas, em função de lançamento de esgotos de residências e atividades agrosilvopastoris situadas na bacia. O autor afirma que os resultados de CT e *E. coli* refletem estas fontes de carga orgânica. Mesmo assim, o lago consegue diluir e controlar os efeitos do oxigênio consumido, coliformes totais e *E. coli*. O autor alerta que, se aumentarem as ocupações na BCRCO por residências, usos agrícolas, pastagem e silvicultura, esses aportes de carga orgânica e nutrientes aumentarão, tornando uma preocupação constante o processo de eutrofização do lago.

Com relação as cianobactérias, das 109 leituras dos dados históricos da Cesama, 7 estavam acima de 20.000 cel.ml⁻¹ e, para as 36 leituras da campanha, 1 estava acima do limite estabelecido para rios Classe 1 (OLIVEIRA, 2018). As leituras mais significativas dos resultados da campanha foram encontradas nos dois pontos dentro da represa (OLIVEIRA, 2018). Segundo Oliveira (2018), os tributários têm condições menos satisfatórias para o desenvolvimento das cianobactérias e o tempo de residência da água no reservatório, a supressão da mata das APP's, a ocupação por loteamento e condomínios e as atividades agrosilvopastoris no entorno da bacia, são condições favoráveis para a proliferação desses organismos na água da represa. O autor ainda corrobora que, outro fator que culmina com a variação da quantidade de cianobactérias na represa é a flutuação do nível da água que afeta outras variáveis, tais como as hidrológicas e limnológicas, alterado o volume, a profundidade da represa e a área do espelho d'água; dessa forma, a penetração da radiação solar oscila ao longo do ano e eleva a suspensão de materiais orgânicos e inorgânicos depositados nas margens da represa e a depleção arrasta esses materiais para dentro do lago. Nesse sentido, o comportamento das cianobactérias na represa de Chapéu D'Uvas é complexo e difícil de analisar, necessitando de mais pesquisas específicas para compreender o comportamento da proliferação de algas e conseqüentemente das cianobactérias (OLIVEIRA, 2018).

3.6 Caracterização Pedológica da BCRC

Machado (2012) e Ribeiro (2012) fizeram uma caracterização das unidades pedológicas da BCRC e da aptidão dos solos da região com base no Projeto RADAMBRASIL (1983) e do Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais, desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), a Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC), a Universidade Federal de Lavras (UFLA) e a Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) no ano de 2010. Constataram que os solos são pobres em nutrientes e com pouca aptidão para a agricultura. Além disso, os solos da BCRC são vulneráveis à erosão, mesmo os tipos de solo possuindo argilas compactas, que têm característica de serem resistentes as erosões, e tais características são similares em toda a bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul (MACHADO, 2012; RIBEIRO (2012). Todavia, os terrenos da BCRC são fortemente inclinados, sendo que essa condição facilita o escoamento superficial, atuando na propensão dos processos erosivos (MACHADO, 2012; RIBEIRO, 2012). Com isso, aumenta-se os riscos de carreamento de partículas sólidas, que provocam o assoreamento da represa de Chapéu D'Uvas.

De acordo com o mapeamento de solos desenvolvido pela UFV/CETEC/UFLA/FEAM (2010), na escala 1: 650.000, as unidades de mapeamento pedológicas presentes na BCRC D são: LVAd59, LAd4, CHd7 (Figura 19).

Já a Tabela 17 apresenta a caracterização de cada unidade de mapeamento pedológico. Na LVAd59 predomina o tipo de solo Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, que tem uma textura argilosa e relevo ondulado, ocupando a maior parte da área da BCRC D (57,51%). Em seguida, na unidade LAd4 predomina o Latossolo Amarelo Distrófico Húmico, que tem uma textura muito argilosa e o relevo é ondulado a forte ondulado, ocupando uma área que equivale a 27,18% do território da bacia hidrográfica. Por último, na unidade de mapeamento CHd7, prevalece o tipo de solo Cambissolo Húmico Distrófico típico, sendo a textura média argilosa e ocupando a menor área da BCRC D, que compreende 15,31% da área total. Todos esses tipos de solos que predominam nas unidades de mapeamento supracitadas têm em comum a característica de serem argilosos e estarem sobre influência de um relevo ondulado e forte a ondulado.

Tais constatações são importantes na análise do estressor hídrico de uso e ocupação do solo, já que o método *Curve Number* utiliza a caracterização dos tipos de solo para calcular o índice de escoamento superficial para determinar o grau do estresse hídrico do uso e ocupação do solo.

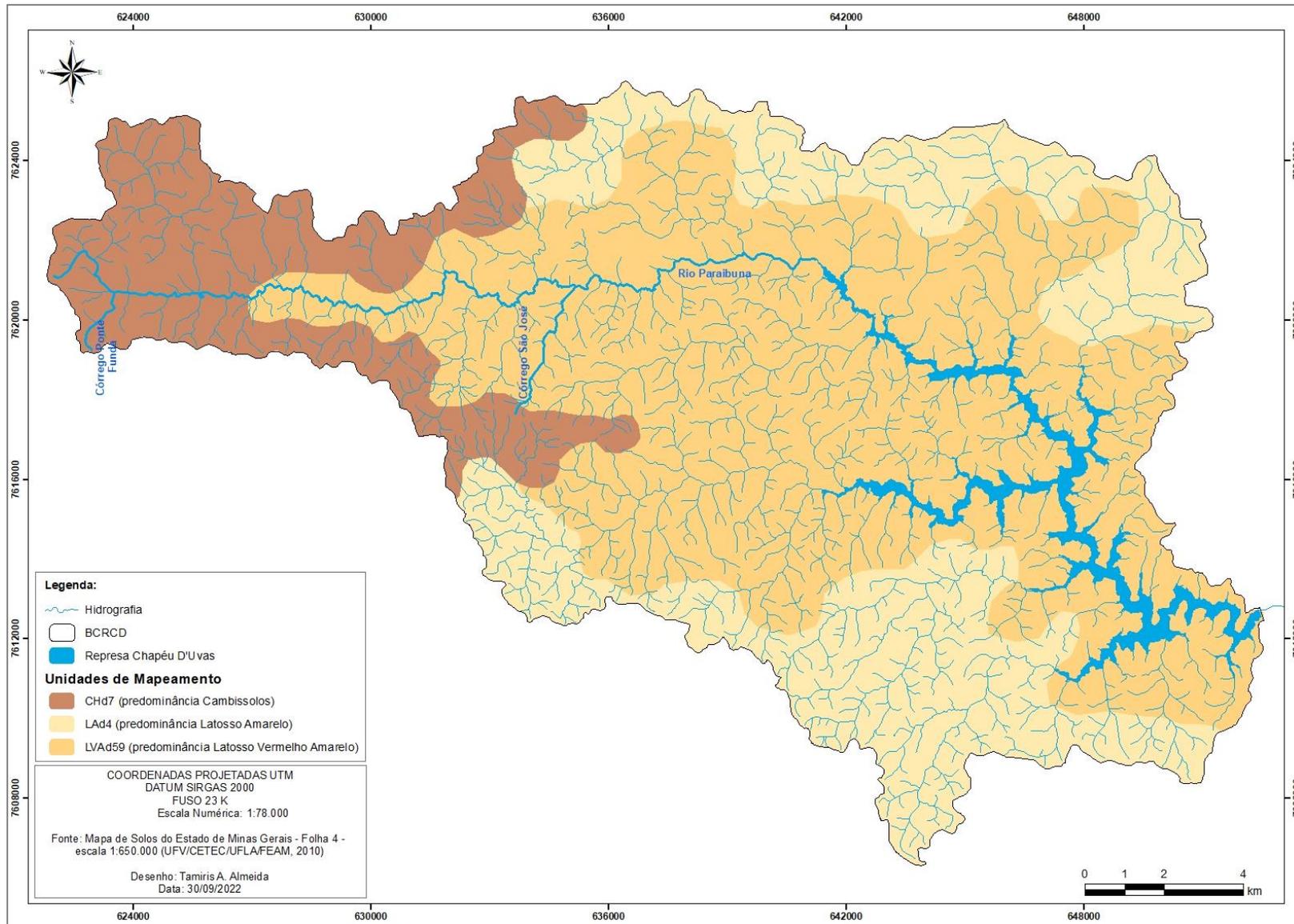


Figura 19: Mapeamento das unidades pedológicas da BCRCD

Tabela 17: Caracterização das unidades de mapeamento pedológico

Unidade de mapeamento	Área na BCRC	Caracterização
LVAd59	180,14 km ² (57,51%)	LATOSSOLO VERMELHO - AMARELO Distrófico típico; A moderado e proeminente; textura argilosa; relevo forte ondulado (60%) + LATOSSOLO AMARELO Distrófico húmico; textura muito argilosa; relevo ondulado e forte ondulado (20%) + CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico; A moderado; textura média e argilosa; relevo forte ondulado e montanhoso (20%)
LAd4	85,12 km ² (27,18%)	LATOSSOLO AMARELO Distrófico húmico; textura muito argilosa; relevo ondulado e forte ondulado (40%) + LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico Húmico; textura argilosa; relevo forte ondulado (40%) + CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico; A moderado; textura média e argilosa; relevo forte ondulado e montanhoso; fase pedregosa e não pedregosa (20%)
CHd7	47,97 km ² (15,31%)	CAMBISSOLO HÚMICO Distrófico típico; textura média e argilosa; fase pedregosa e não pedregosa (60%) + LATOSSOLO AMARELO Distrófico húmico; textura muito argilosa (20%), ambos em relevo forte ondulado e montanhoso + NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico típico; A moderado; textura argilosa; relevo montanhoso e escarpado (10%) + AFLORAMENTO DE ROCHA (10%)

Fonte: UFV/CETEC/UFLA/FEAM (2010)

3.7 Conflitos da BCRC

Segundo Machado (2012), a construção da represa de Chapéu D'Uvas foi iniciada em 1940 e terminou em 1994, marcada por várias paralisações e retomadas do projeto e alterações da função da barragem e de seu espelho d'água. Inicialmente, o projeto previa que a barragem teria a função de regularizar as vazões do rio Paraibuna para conter enchentes em Juiz de Fora (MACHADO, 2012). O autor menciona que, anos depois, a barragem teria como função gerar energia elétrica para Juiz de Fora e, posteriormente, a retomada das obras da barragem foi para garantir a regularização das vazões do rio Paraibuna para suprir a demanda de água das indústrias e fornecer descargas de água no período de seca para minimizar a poluição hídrica, ambas as ações eram para atender a cidade de Juiz de Fora. Por fim, o represamento de água da barragem passou a ter a função de abastecimento humano de água da cidade de Juiz de Fora (MACHADO, 2012).

A Cesama assumiu a operação, vigilância, manutenção e guarda da barragem de Chapéu D'Uvas em 2001, conforme o termo de cooperação técnica assinado com o Ministério do Meio

Ambiente (MACHADO, 2012). Em 2003, foram concluídos estudos que afirmavam que aduzir água da represa por meio de uma adutora até a ETA Walfrido Machado de Mendonça seria a melhor solução para o abastecimento de água da cidade de Juiz de Fora até 2030 (PREFEITURA JUIZ DE FORA, 2015; MACHADO, 2012). Em 2009, a Prefeitura de Juiz de Fora lançou o edital de licitação da obra da adutora de Chapéu D'Uvas com uma tubulação de 17,735 km de extensão e que poderia adicionar até 900 L/s ao sistema produtivo da cidade (PREFEITURA JUIZ DE FORA, 2015).

Assim, em 2010, foram iniciadas as obras da adutora da represa de Chapéu D'Uvas para a Estação de Tratamento de Água (ETA) Marechal Castelo Branco, com o objetivo de atender as demandas de água para abastecimento da cidade de Juiz de Fora-MG (CAMPOS, 2010). Na crise hídrica de 2014/2015, ficou evidente a dependência das águas da represa de Chapéu D'Uvas para suprir a exigência de abastecimento da cidade de Juiz de Fora, quando as represas de São Pedro e Dr. João Penido e o Ribeirão Espírito Santo estavam com níveis críticos de disponibilidade de vazões (OLIVEIRA FILHO, 2014). As águas de Chapéu D'Uvas não só favoreciam o abastecimento em quantidade, mas também em qualidade, visto que, o parâmetro de turbidez da qualidade da água era melhor do que dos mananciais do município (PREFEITURA JUIZ DE FORA, 2015).

Vários são os conflitos desde a década de 1940, que permeiam a construção da barragem de Chapéu D'Uvas, tais como os processos de indenizações e desapropriações de terras das comunidades atingidas e fazendeiros da região que foram alagadas (MACHADO, 2012). Assim como conflitos pela finalidade do uso da barragem a montante e a jusante. Ainda, há problemas de ordem institucional na bacia hidrográfica desse manancial. Conforme explanado por Machado (2012), a situação da BCRCO é complexa pelos limites territoriais que não coincidem com a delimitação política administrativa convencional, já que a bacia hidrográfica abrange três diferentes municípios (Ewbank da Câmara, Santos Dumont e Antônio Carlos) que desejam expandir o turismo rural e aquático e a ocupação urbana, sem relação direta com os usos das águas; e Juiz de Fora, que é o principal usuário do recurso hídrico da represa, e depende dessa água para garantir o abastecimento humano pelo menos nos próximos 50 anos (MACHADO, 2012).

Nenhum dos municípios a montante da barragem de Chapéu D'Uvas utiliza a água da represa para abastecimento humano. Segundo Machado (2012), para os municípios de Ewbank da Câmara, Santos Dumont e Antônio Carlos, a construção da barragem trouxe de positivo a

possibilidade de ocupação e uso turístico, sendo que a beleza paisagística da represa de Chapéu D'Uvas despertou especulação imobiliária na região.

Entretanto, a especulação imobiliária traz a necessidade de planejamento e ordenamento territorial da bacia hidrográfica da barragem, que vise a utilização conjunta de suas águas e terras pelos municípios limítrofes da bacia hidrográfica e o município de Juiz de Fora, que necessita de suas águas para abastecimento humano (MACHADO, 2012). Assim, o manancial de água encontra-se fragilizado e necessita de uma gestão ambiental eficiente e de políticas públicas pela sua preservação e pela ocupação antrópica ordenada, respaldada pelo planejamento territorial da bacia hidrográfica, cumprimento de legislações e leis urbanísticas (MACHADO, 2012), coerentes com a necessidade de uma definição de uma faixa de APP's mais restritiva e preservação da vegetação ciliar e recuperação da vegetação das margens, correspondente a largura da APP.

Vários empreendimentos vêm sendo instalados no território da bacia hidrográfica da represa Chapéu D'Uvas, inclusive em APP's, sem autorização de intervenção ambiental pelos órgãos ambientais (ACÁCIO, 2019; ACÁCIO; BERNADETE, 2021; MACHADO, 2012; MIRANDA, 2021)

A represa de Chapéu D'Uvas não possui gestão de suas águas e de seu entorno, somente a Cesama opera, faz a manutenção e aplica as medidas de segurança na barragem (MACHADO, 2012). As irregularidades do uso do solo na região da bacia hidrográfica denotam desde a construção de barracos de pescadores na margem da água até residências de alto padrão, loteamento irregulares, lixo, caça, monocultura de eucalipto, assoreamento e processos erosivos (ACÁCIO, 2019).

Em março de 2021, o Comitê da bacia do Rio Preto e Paraibuna fez um seminário para debater a situação da represa Chapéu D'Uvas. Na época, a Polícia Ambiental destacou a dificuldade de fiscalizar e monitorar as áreas de preservação permanente da região da represa (ACÁCIO; BERNADETE, 2021). Já no final do ano de 2022, o Comitê deliberou para a realização de estudos com o objetivo de elaborar o Plano de Uso da Área da Bacia Hidrográfica de Contribuição da Represa de Chapéu D'Uvas e do reservatório (CBH PRETO E PARAIBUNA, 2022).

A ANA isenta a Cesama de fiscalizar a represa e seu entorno, sendo competência do estado e dos municípios abrangidos pela represa essa função (MIRANDA, 2021). Segundo a ANA, não existe uma detentora de outorga da barragem em si, somente a outorga de uso da água da represa pela Cesama para abastecer a cidade de Juiz de Fora (MIRANDA, 2021).

O Ministério Público ainda está analisando o questionamento quanto à interpretação da SEMAD sobre a não exigência de licenciamento ambiental para o empreendimento com base na Deliberação Normativa do COPAM nº 217/2017 (MIRANDA, 2021). E, também, sobre a delimitação de área de preservação permanente, que compreende até a cota 746 metros da margem da represa, a qual é de propriedade da União (ACÁCIO; BERNADETE, 2021; MIRANDA, 2021).

Para Machado (2012), resolver os conflitos da BCRC D é urgente para garantir a utilização do potencial turística, da ocupação territorial ordenada a montante da barragem e o abastecimento humano a jusante, além de outros usos do manancial no futuro, dispondo de mecanismos de gestão democrática e eficiente que integre o contexto histórico da construção da barragem e seu potencial de utilização, o planejamento territorial e a gestão ambiental da bacia hidrográfica como Unidade de Planejamento.

4. METODOLOGIA

Essa proposta de dissertação concentra-se na área de gerenciamento de recursos hídricos e gestão ambiental da bacia hidrográfica da represa de Chapéu D' Uvas. Esta seção apresenta a metodologia aplicada para o desenvolvimento do trabalho do estudo de caso.

Infere-se que foi realizada uma análise comparativa entre o risco à segurança hídrica entre os anos de 2014 e 2021. Foi escolhido o ano de 2014 para comparar com 2021 por ter sido o ano do marco do início da captação de água na represa de Chapéu D'Uvas pela Cesama, para complementar o abastecimento de água para a cidade de Juiz de Fora. Além disso, no ano de 2014, a região Sudeste enfrentou uma de suas piores crises hídricas devido à escassez de água. Já o ano de 2021 foi escolhido pela disponibilidade mais recente de dados completos do ciclo hidrológico anual, de qualidade da água e imagens de satélite.

O fluxograma da Figura 20 demonstra os passos do desenvolvimento metodológico do trabalho, que consiste em delimitar e mensurar a situação dos estressores hídricos de qualidade e quantidade de água da BCRCO e da represa e, em seguida, utilizar o método FMEA para determinar a severidade, ocorrência e detectabilidade de cada estressor hídrico. Posteriormente, foi calculado o risco à segurança hídrica com base no grau do estresse hídrico encontrado de qualidade e quantidade de água de cada estressor hídrico e verificado em qual grupo de risco se enquadra.

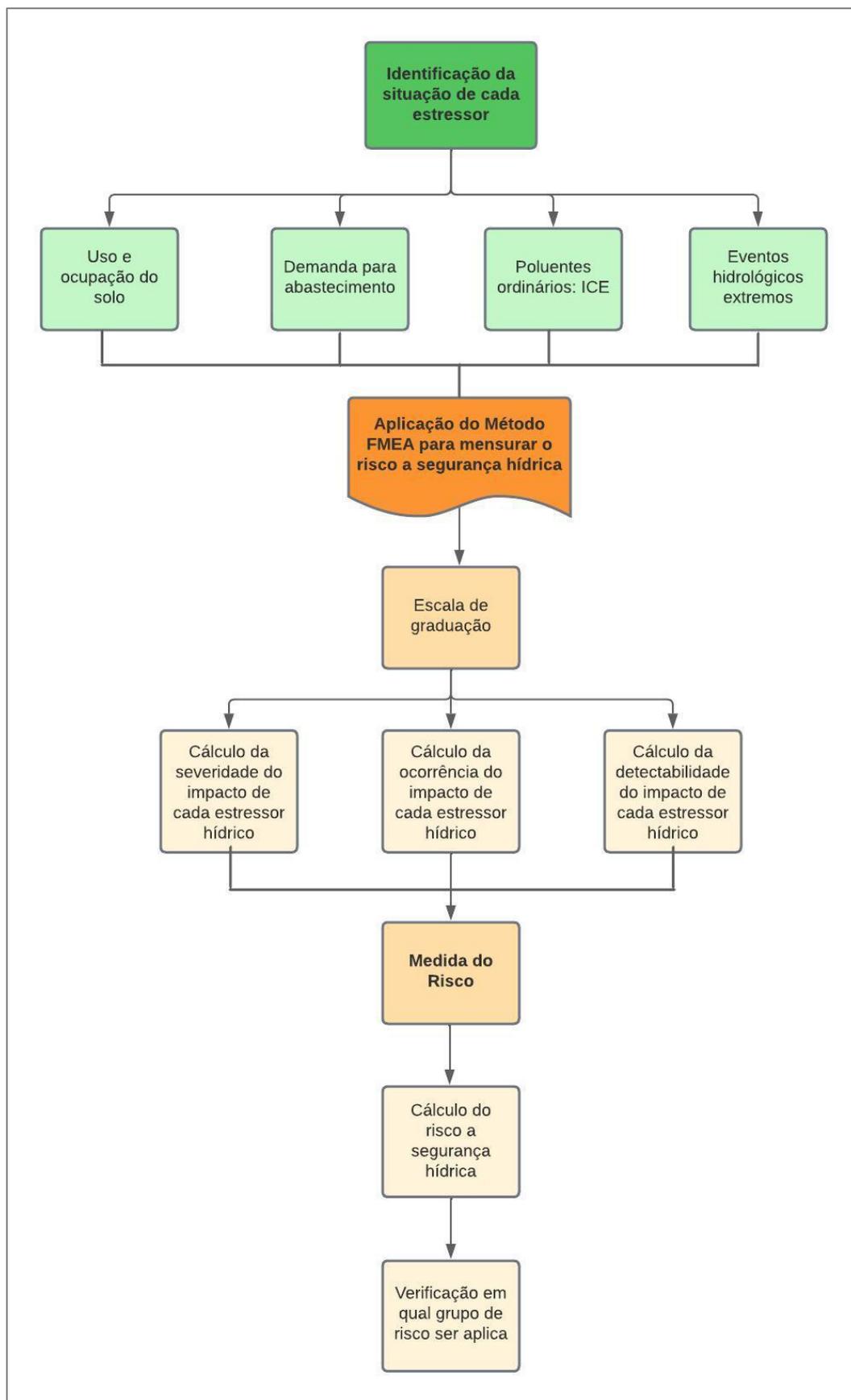


Figura 20: Fluxograma das etapas empregadas no trabalho

4.1 Identificação da Situação dos Estressores Hídricos

De acordo com a revisão da literatura, verifica-se que as alterações no uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica, as mudanças climáticas, o desequilíbrio entre oferta e demanda de água e a deterioração da qualidade da água por lançamento de efluentes tornam as bacias hidrográficas vulneráveis ao aumento do estresse hídrico. Conseqüentemente, o aumento do impacto dos estressores hídricos podem provocar riscos à segurança hídrica, em qualidade e quantidade de água, sobretudo em mananciais utilizados para abastecimento humano.

Nessa dissertação, foram utilizados um conjunto de 4 (quatro) estressores hídricos estudados por Mello (2016), que podem ser aplicados na BCRCO para identificar a situação de cada estressor e, posteriormente, calcular o risco à segurança hídrica. Compreende-se que, com base na revisão bibliográfica sobre os estressores hídricos, a proposta da autora se aplica ao estudo de caso da represa de Chapéu D'Uvas.

No entanto, algumas alterações metodológicas de mensuração do estresse hídrico foram desenvolvidas para os estressores hídricos de demanda de água e eventos hidrológicos extremos, por se tratar de um reservatório de acumulação de água, diferente da proposta metodológica de Mello (2016), que aplicou o estudo de caso no rio das Velhas. Para o estressor hídrico de uso e ocupação do solo também foi utilizada outra metodologia por meio da aplicação do método *Curve Number*.

A Tabela 18 apresenta os estressores hídricos de água bruta com a respectiva incidência, que pode ser: frequente - ocorre em menor escala de tempo e mais vezes ao longo do ano; contingente - ocorre em maior escala de tempo e menos vezes ao longo do ano. A Tabela 18 também apresenta as características mensuráveis de cada estressor e os parâmetros e unidades, para os quais foi verificada a situação de cada um na BCRCO.

Tabela 18: Estressores hídricos usados neste trabalho e suas características

Estressor	Incidência	Características mensuráveis	Parâmetro	Unidade
Uso e ocupação do solo	Frequente	Classes de uso e ocupação do solo	<i>Curve Number</i>	adimensional
Demanda	Frequente	Armazenamento de água para abastecimento humano	Cotas guias de operação	m
Poluentes ordinários	Frequente	Condição qualitativa do corpo de água, com relação ao enquadramento	ICE: pH, OD, DBO, P, Turbidez e <i>E. Coli</i>	várias
Eventos hidrológicos extremos	Contingente	Redução ou aumento do armazenamento de água por eventos extremos	Cota mínima e máxima operacional;	m
			Precipitação	mm

4.1.1 Uso e Ocupação do Solo

Esse estressor é dinâmico e a intensidade do estresse hídrico ao longo do tempo depende da finalidade do uso dos recursos hídricos da bacia. Atividades na bacia que exercem pressão sobre a água bruta, tais como, agricultura e agropecuária, urbanização e desmatamento, resultam no aumento do escoamento superficial, aumento de erosões no solo, assoreamento dos corpos hídricos, diminuição da infiltração do solo, aumento de carga orgânica na água e desenvolvimento de processos de eutrofização em reservatórios artificiais.

A ação desse estressor a curto prazo é sentida principalmente na qualidade da água do manancial. Ao longo do tempo, pode afetar a disponibilidade de quantidade de água e o regime de vazões. Os efeitos desse estressor são ampliados se as APP's não estiverem preservadas, já que exercem a função de proteger o manancial, mantendo uma boa qualidade de água e contribuem na manutenção da quantidade de água (MELLO, 2016).

➤ Base de Dados e Processamento das Imagens

Para o estressor uso e ocupação do solo, foi realizada uma análise do ano de 2021 e foi comparada com uma imagem de satélite do ano de 2015. Só havia imagens de satélite de boa resolução disponíveis e com poucas nuvens para o ano de 2015, já para o ano de 2014, as imagens de satélite contavam com muitas nuvens, inviabilizando sua utilização. Desse modo, houve uma alteração metodológica de análise das imagens de satélite, com a comparação entre

os anos de 2015 e 2021, sendo que para os demais estressores hídricos foi mantida a comparação entre os anos de 2014 a 2021.

Foram utilizadas imagens de satélite do CBERS 4A para elaborar o mapa de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do ano de 2021. As imagens disponíveis do CBERS 4A possuem resolução espacial, usando a fusão pancromática, de 2 metros, porém, o período disponível de imagens é somente a partir de 2021.

Para fazer uma análise temporal, comparando com as imagens atuais com antigas, foram utilizadas imagens de 2015, disponibilizadas pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos¹, sendo elas as Landsat-8, com resolução espacial multiespectral de 30 metros e resolução pancromática de 15m.

Para realizar o mapeamento dos usos do solo, foi utilizado o Software QGIS versão 3.22, por se tratar de um software livre utilizado para geoprocessamento e sensoriamento remoto de imagens de satélite. Toda a metodologia de processamento das imagens de satélite e do geoprocessamento do uso e ocupação do solo desenvolvidos para gerar os mapas dos respectivos anos de 2015 e 2021 estão no Apêndice I.

As categorias de classes de uso e ocupação do solo escolhidas para o mapeamento foram: florestas, silvicultura, pastos, solo exposto, uso antrópico e corpos hídricos:

- **Florestas:** na região da Zona da Mata mineira predomina a vegetação de fisionomia de Floresta Tropical Semidecidual. É uma vegetação típica de clima tropical com duas estações bem definidas (uma chuvosa e outra seca). Essa classe engloba todos os trechos com vegetação densa ou capoeiras ou matas mais abertas, com copas de árvores proeminentes.
- **Silvicultura:** nessa classe, enquadra-se o reflorestamento, principalmente por eucaliptos que vem aumentando na BCRC.
- **Pastos:** essa classe consiste nas áreas de pastagens utilizadas pelo gado de corte e gado leiteiro da região, os pastos sujos e pastos ralos abandonados e as áreas de vegetação pobre.
- **Solo Exposto:** compreende todos os locais da bacia hidrográfica com solos nus, sem nenhum tipo de cobertura vegetal e/ou com processos erosivos, como evidenciado nas margens da represa. Essa classe engloba também as movimentações de terra para loteamentos e as estradas que vem aumentando na região.

¹USGS – Science for a Changing World. Earth Explorer. Disponível em: EarthExplorer (usgs.gov).

- **Uso Antrópico:** essa classe abarca as construções humanas, sendo elas fazendas, loteamentos e condomínios construídos, distritos rurais e edificações para embarcações, pesca e outras atividades desenvolvidas na bacia.
- **Corpos Hídricos:** engloba a represa de Chapéu D'Uvas e barramentos de cursos d'água espalhados pela bacia hidrográfica.

Também foi realizada uma avaliação das mudanças ocorridas no período do estudo por unidades hidrográficas a fim de analisar as alterações nas microbacias e verificar onde houveram mais transformações no uso do solo.

➤ **Cálculo do Estressor Hídrico**

Em 1986, foi desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos um método que estima o máximo potencial de retenção de água em uma bacia hidrográfica, por meio do cálculo do índice de comprometimento ao escoamento superficial, denominado de *Curve Number* (ALMEIDA, 2016).

O *Curve Number* (CN) é empregado em modelagem hidrológica para calcular o máximo potencial de retenção de água em bacias hidrográficas durante eventos de chuva. Está associado ao uso e ocupação do solo, ao tipo hidrológico do solo e à umidade antecedente, relacionada à precipitação acumulada dos últimos 5 dias (TUCCI, 2012). O CN avalia as influências dos níveis de escoamento superficial de uma bacia hidrográfica e o seu valor pode variar de 0 a 100, quanto maior o CN, maior será o escoamento superficial e menor será a capacidade de infiltração de água no solo (TUCCI, 2012). Desse modo, o CN mede o índice de conservação florestal que mantém a capacidade de uma bacia hidrográfica de reter água para manutenção das condições hídricas em qualidade e quantidade suficientes (TUCCI, 2012).

Os solos podem ser classificados em quatro grupos hidrológicos (USDA, 1986), sendo que Tucci (2012) e Tomaz (2002) corroboraram as características dos tipos de solos A, B, C e D por semelhança com os solos brasileiros. Logo, os solos brasileiros que se assemelham aos tipos de solo A, B, C e D tem as respectivas características listadas abaixo:

- Solos A: solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração. São solos arenosos profundos com pouco silte e argila;

- Solos B: solos que produzem um pouco mais de escoamento superficial que o anterior, sendo solos arenosos menos profundos do que o tipo A e permeabilidade superior à média;
- Solos C: solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo porcentagem considerável de argila e pouco profundo;
- Solos D: solos contendo argilas expansivas e pouco profundas, com muito baixa capacidade de infiltração, gerando maior proporção de escoamento superficial.

Já Sartori (2004) realizou uma classificação hidrológica dos solos para as condições brasileiras, enquadrando os tipos de solos dentro dos grupos hidrológicos. Ressalta-se, nessa pesquisa, que os solos latossolo vermelho-amarelo e latossolo amarelo podem se enquadrar nos grupos de solo A ou B. Já os tipos de solo cambissolo nos grupos hidrológicos C ou D.

Como existem diferentes usos e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica, coexistem diferentes valores de CN para uma mesma bacia hidrográfica. Sendo assim, ao determinar os valores de CN para os diferentes usos do solo, posteriormente, calculou-se um valor médio de CN para a bacia hidrográfica em estudo (Equação 2)

$$CN = \frac{\text{área} \times CN}{\sum \text{área total}} \quad \text{Equação 2}$$

Para determinar o CN médio da bacia hidrográfica, primeiramente é necessário adotar um CN para cada tipo de uso e ocupação do solo (floresta, silvicultura, pastos, solo exposto, uso antrópico) relacionado ao respectivo grupo de solo hidrológico a que pertence (solos A, B, C e D) e as condições hidrológicas dos solos que podem ser precária, razoável e boa.

A Tabela 19 apresenta os usos e ocupação do solo, determinados pelo USDA (1986), de acordo com as características dos ecossistemas da região do hemisfério norte. No Brasil, é comumente adaptado as características propostas na Tabela 19 para as condições ecossistêmicas da região. As florestas podem ter um CN equivalente aos indicados pela “mata”, a silvicultura o CN é semelhante ao de “bosque - combinação de gramas (pomar ou árvores para fins comerciais)”, os pastos tem CN conforme indicado pelo “Pasto, gramado ou pastagem - forragem contínua para pasto” para condições hidrológicas boa ou razoável.. Já o solo exposto pode ser Pasto, gramado ou pastagem forragem contínua” para uma condição hidrológica

precária. Por fim, os usos antrópicos correspondem ao CN “Fazendas - prédios, caminhos, entradas para carro e lotes ao redor”, já que a BCRCO é considerada rural.

Tabela 19: Valores de CN para áreas rurais

Tipologia de cobertura do solo	Condição hidrológica	Número de escoamento superficial para o grupo de solo			
		A	B	C	D
Pasto, gramado ou pastagem - forragem contínua para pasto	Precária	68	79	86	89
	Razoável	49	69	79	84
	Boa	39	61	74	80
Prado - grama contínua, protegida de pasto e geralmente cortada para feno		30	58	71	78
Mata - mistura de grama, mato e ervas, com mato como o principal elemento	Precária	48	67	77	83
	Razoável	35	56	70	77
	Boa	30	48	65	73
Bosque - combinação de gramas (pomar ou árvores para fins comerciais)	Precária	57	73	82	86
	Razoável	43	65	76	82
	Boa	32	58	72	79
Bosque	Precária	45	66	77	83
	Razoável	36	60	73	79
	Boa	30	55	70	77
Fazendas - prédios, caminhos, entradas para carro e lotes ao redor		59	74	82	86

Fonte: USDA (1986).

De posse das áreas de cada classe de uso do solo e dos três tipos de solo predominantes na BCRCO, sendo eles: cambissolo, latossolo-amarelo e latossolo vermelho-amarelo, foi calculado o CN para o ano de 2015 e de 2021. O latossolo amarelo e vermelho-amarelo é constituído por uma textura média/argilosa de atividade baixa, profundo, com moderada taxa de infiltração e porosos se enquadrando no grupo B de solos para determinação do CN. Já o cambissolo são associados à argila de atividade baixa, são solos pouco profundos e com taxa de infiltração mais baixa. Esse tipo de solo se enquadra no grupo C de solos para o cálculo do CN.

Foi considerada no cálculo a condição hidrológica razoável para os pastos, devido à degradação dos pastos provocado pela falta de manejo, pela alta declividade dos terrenos e pelo pisoteio de animais, fato que é recorrentemente encontrado na região na bacia hidrográfica. Para os solos expostos, foi adotada a condição hidrológica precária, pois, trata-se de áreas com pastos precários, em alguns lugares associados a processos erosivos e movimentação de terra. Para o uso antrópico, aplicou-se a tipologia de uso do solo de fazendas – prédios, caminhos, entradas para carro e lotes ao redor. Corresponde as áreas de loteamentos, distritos, estradas asfaltadas e

casas construídas. Para as florestas foi considerada uma condição hidrológica boa, assim como para a silvicultura.

A Figura 21 demonstra o passo a passo do cálculo do CN da BCRCO, utilizado para determinar o estressor hídrico de uso e ocupação do solo.

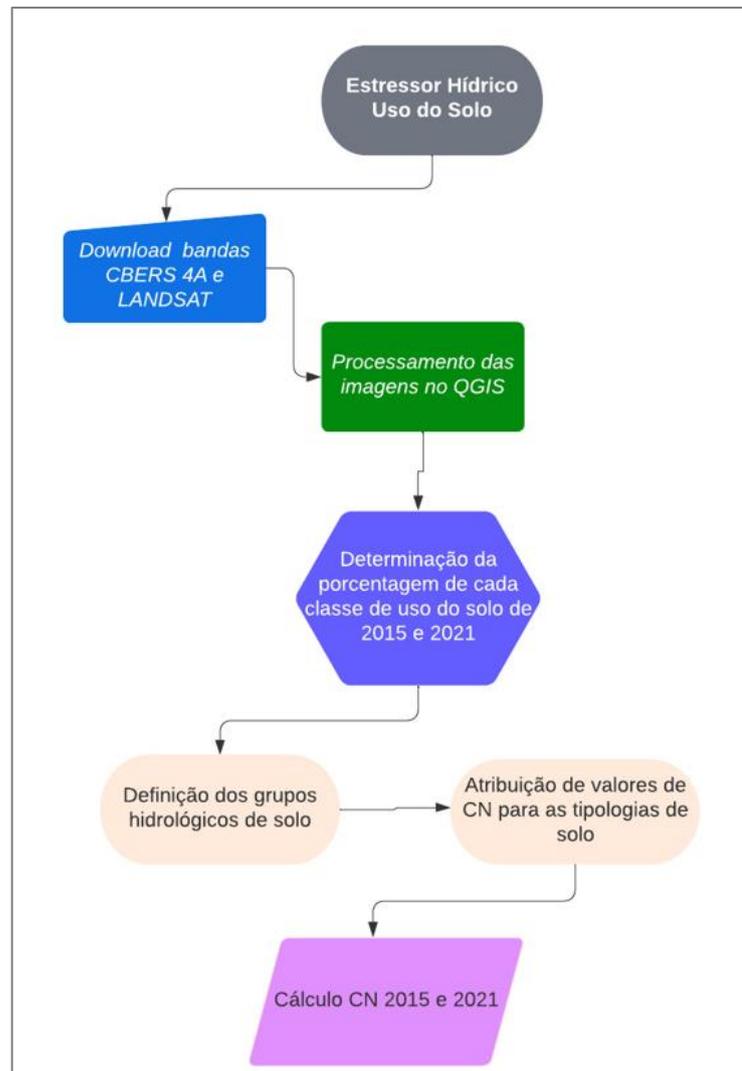


Figura 21: Fluxograma metodológico de definição do estressor hídrico uso e ocupação do solo para os anos de 2015 e 2021.

4.1.2 Demanda de Água para Abastecimento

A oferta de água é função do regime hidrológico anual, que determina a disponibilidade de água no período chuvoso e seco, isto é, considera o regime sazonal do ciclo hidrológico.

Há um estresse quantitativo na demanda de água quando ocorre o desequilíbrio no balanço hídrico da bacia hidrográfica e do reservatório de acumulação de água. Essa demanda

é proveniente dos usos conhecidos ou desconhecidos, da taxa de crescimento populacional e outras atividades socioeconômicas desenvolvidas na bacia hidrográfica (MELLO, 2016) e no entorno do reservatório de água. Considera-se também o balanço hídrico do reservatório, em função das entradas por precipitação e vazões afluentes e pelas perdas por evaporação, vazão defluente da água pelo vertedor e infiltração do solo que influenciam na disponibilidade hídrica para atender as demandas dos usos múltiplos.

O estresse sobre a demanda pode ocorrer devido a conflitos pelos usos e falha na operação do sistema de gerenciamento do manancial (MELLO, 2016) e também pelas saídas serem maiores que a entrada de água e por eventos hidrológicos extremos. Esse estressor ainda pode afetar a qualidade da água, pois reduz sua capacidade de autodepuração.

O estresse sobre a demanda ocorre com uma frequência inversamente proporcional à sua intensidade. Ou seja, as demandas são pouco intensas, isto é, as retiradas de água têm uma baixa intensidade, porém são muito frequentes, ocorrem todos os dias durante um ciclo hidrológico completo (MELLO, 2016).

Para determinar a demanda de água para abastecimento, foram consultados os dados da outorga da Cesama de captação na represa Chapéu D'Uvas, obtida junto a ANA (2022a). Para avaliar a oferta, foram utilizados os dados históricos de cota e volume da represa, obtidos junto ao histórico do monitoramento do volume pela Cesama desde o ano de 2003 (CESAMA, 2022b). Em seguida, foram comparados com a cota mínima operacional e volume mínimo operacional para os anos de 2014 a 2021, a fim de investigar se a oferta atendeu à demanda em todo o ciclo hidrológico e, assim, identificar a situação deste estressor.

4.1.3 Poluentes Ordinários

Como poluentes ordinários foram considerados os lançamentos de esgoto, efluentes industriais, pesticidas e chorume de resíduos sólidos que aumentam a carga poluidora nos recursos hídricos das bacias hidrográficas, o que resulta na deterioração da água e provoca o estresse na qualidade da mesma (OLIVEIRA, 2018).

Inclui-se também, no caso da represa de Chapéu D'Uvas, a deterioração da qualidade da água devido ao processo de enchimento do reservatório, sem retirar de forma eficiente a vegetação, tornando um problema na represa a decomposição da matéria orgânica e consequentemente o aumento das cianobactérias (MACHADO, 2012).

Nesse trabalho, para verificar a situação do estressor hídrico poluente ordinário relacionado à qualidade da água, foi empregado o Índice de Conformidade ao Enquadramento (ICE). A ANA (2012b) afirma que o ICE tem a função de acompanhar as metas de enquadramento dos corpos hídricos dos Estados e da União.

O ICE tem três aspectos de análise, sendo eles: a abrangência que representa o número de parâmetros em desconformidade com o padrão de enquadramento; a frequência que exprime quantas vezes o parâmetro esteve desconforme; e a amplitude que avalia o limite do enquadramento (ANA, 2012; CCME, 2017). O ICE é baseado na combinação desses três fatores (amplitude, frequência e abrangência), que juntos avaliam o atendimento do corpo hídrico ao padrão de enquadramento de qualidade da água (CCME, 2017).

Quando o ICE está mais próximo de 100, o corpo hídrico estará dentro do enquadramento da classe naquele determinado trecho. Quanto menor o ICE, o enquadramento estará sendo desrespeitado.

ANA (2012b) preconiza os parâmetros do cálculo do ICE, fundamentados nos parâmetros do Índice de Qualidade da Água (IQA), sendo eles: pH, OD, DBO, fósforo (P), turbidez e *Escherichia Coli*.

Para determinar o ICE da represa de Chapéu D'Uvas, foram utilizados os dados do monitoramento mensal de água realizados pela Cesama correspondentes aos anos de 2014 a 2021 (Anexo I), no ponto de captação da água para abastecimento humano de Juiz de Fora.

Para calcular o ICE, foi empregada a metodologia desenvolvida pelo *Canadian Council of Ministers of the Environment* (CCME, 2017), que determina de forma clara e objetiva o estado da qualidade da água com relação ao seu enquadramento. CCME (2017) é referenciado no Brasil pela ANA (2012b). A Resolução CONAMA nº 357/2005 define os padrões de qualidade da água e os critérios para o enquadramento dos recursos hídricos superficiais em escala nacional e a DN COPAM nº08/2022 define os padrões de qualidade para o estado de Minas Gerais, no entanto, os limites são os mesmos, conforme preconiza a DN COPAM nº 08/2022. A Tabela 20 demonstra os limites, que foram os utilizados no cálculo do ICE desse estudo.

A represa de Chapéu D' Uvas está enquadrada em rios de Classe 1, conforme a Resolução do COPAM nº 16/1996. Enfatiza-se que da nascente do rio Paraibuna até a confluência com o Córrego São José é Classe Especial, e depois desse local até a barragem da represa de Chapéu D'Uvas é enquadrado como Classe 1.

Tabela 20: Padrões de Qualidade da Água para Enquadramento conforme DN COPAM/CERH-MG nº08/2022

Parâmetro	Unidade	Classe de Enquadramento
		1
pH	-	6 a 9
Oxigênio Dissolvido	-	≥ 6
DBO	mg/L	≤ 3
Fósforo total - ambiente lântico	mg/L	≤ 0,020
Turbidez	UNT	≤ 40
<i>E. Coli</i> *	NMP/100mL	≤ 250

*A *E. Coli*: utilizada em substituição ao parâmetro Coliformes Termotolerantes Totais, observado o mesmo limite.

O ICE foi determinado pela Equação 3:

$$ICE = 100 - \frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}}{1,732} \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

F_1 : representa a porcentagem da quantidade de parâmetros que falharam, isto é, o número de parâmetros que violaram os limites dos padrões de qualidade da água referentes ao enquadramento; F_1 é calculado pela Equação 4:

$$F_1 = \frac{\text{número de parâmetros que falharam}}{\text{número total de parâmetros}} * 100 \quad (\text{Equação 4})$$

F_2 : representa a porcentagem de vezes que um mesmo parâmetro estava fora dos padrões de enquadramento. F_2 é calculado pela Equação 5:

$$F_2 = \frac{\text{número de testes de amostras que falharam}}{\text{número total de testes de amostras}} * 100 \quad (\text{Equação 5})$$

F_3 : é a diferença entre o valor desejado (dentro do limite de enquadramento) e o valor observado (fora do limite de enquadramento). Pode ser calculado de duas formas, a depender do parâmetro analisado (Equações 6 e 7).

➤ Quando o enquadramento exige que o valor seja inferior ao limite máximo:

$$\Delta V = \frac{\text{valor testado fora do enquadramento}}{\text{limite do enquadramento}} - 1 \quad (\text{Equação 6})$$

➤ Quando o enquadramento exige que o valor seja maior que o limite mínimo:

$$\Delta V = \frac{\text{limite do enquadramento}}{\text{valor testado fora do enquadramento}} - 1 \quad (\text{Equação 7})$$

Posteriormente, calcula-se a soma normalizada, que consiste em somar todos valores fora do enquadramento e dividir pelo número total de amostras (Equação 8).

$$snv = \frac{\sum_{i=0}^n \Delta V_i}{\text{número total de amostras}} \quad (\text{Equação 8})$$

Por último, o valor de F_3 é dado pela Equação 9:

$$F_3 = \frac{snv}{0,01*snv+0,01} \quad (\text{Equação 9})$$

Após o cálculo do ICE de cada ano compreendido entre 2014 a 2021, o resultado foi comparado com a Tabela 21, para identificar a faixa de enquadramento estabelecida para a represa de Chapéu D’Uvas durante o período de monitoramento.

Tabela 21: Classes do Índice de Conformidade ao Enquadramento

Valor do ICE	Classes	Significado
ICE>94	Ótima	A qualidade da água está protegida com virtual ausência de impactos. A qualidade da água está muito próxima da condição natural. Estes valores de ICE somente podem ser obtidos se todas as medidas estiverem durante todo o tempo dentro dos padrões estabelecidos pelo enquadramento
79<ICE≤94	Boa	A qualidade da água está protegida, apresentado somente um pequeno grau de impacto. A qualidade da água raramente se desvia dos padrões estabelecidos pelo enquadramento
64<ICE≤79	Regular	A qualidade da água está protegida, mas ocasionalmente ocorrem impactos. A qualidade da água algumas vezes desvia dos padrões estabelecidos pelo enquadramento
44<ICE≤64	Ruim	A qualidade da água está frequentemente afetada. Com frequência os parâmetros de qualidade da água não atendem os padrões estabelecidos pelo enquadramento
ICE≤44	Péssima	A qualidade da água quase sempre está alterada. Os parâmetros de qualidade frequentemente não atendem os padrões estabelecidos pelo enquadramento

Fonte: ANA (2012b); CCME (2017).

4.1.4 Eventos Hidrológicos Extremos

Esse estressor tem uma baixa probabilidade de ocorrência, podendo ser eventos extremos de seca e/ou de chuvas intensas. A ocorrência desse estressor é a menor dentre os 4 estressores, os eventos extremos de seca ou de cheias tem baixa frequência no ciclo hidrológico da água na bacia hidrográfica, porém com alta intensidade. Destaca-se que esse estressor pode afetar tanto a quantidade quanto a qualidade da água, configurando em acentuado risco para a segurança hídrica.

A estação meteorológica mais próxima da represa de Chapéu D'Uvas é a Estação Climatológica Principal de Juiz de Fora (ECP/JF nº 83.692), localizada na Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), distante 26 km em linha reta até a barragem de Chapéu D'Uvas. Na região da BCRC D, existe uma Estação Pluviométrica da ANA nº 2143020 localizada a jusante da barragem a 2,7km em linha reta, próximo ao rio Paraibuna (Figura 22).

Para identificar o padrão climatológico da BCRC D foi usada as Normais Climatológicas provenientes da Estação ECP/JF nº 83.692. Adverte-se que, a inexistência de Normais Climatológicas de um ponto de monitoramento a montante da represa de Chapéu D'Uvas é menos favorável para o detalhamento do comportamento dos eventos hidrológicos extremos. No entanto, não impede de correlacionar esses dados da Normal Climatológica de um ponto mais distante da BCRC D com os dados pluviométricos da estação mais próxima da BCRC D (Estação Pluviométrica da ANA nº 2143020).

Para avaliar a situação desse estressor, foi analisado nos respectivos anos de 2014 a 2021 se houve eventos extremos de seca e chuva que pudessem comprometer a oferta de água e a qualidade do manancial da represa de Chapéu D'Uvas.

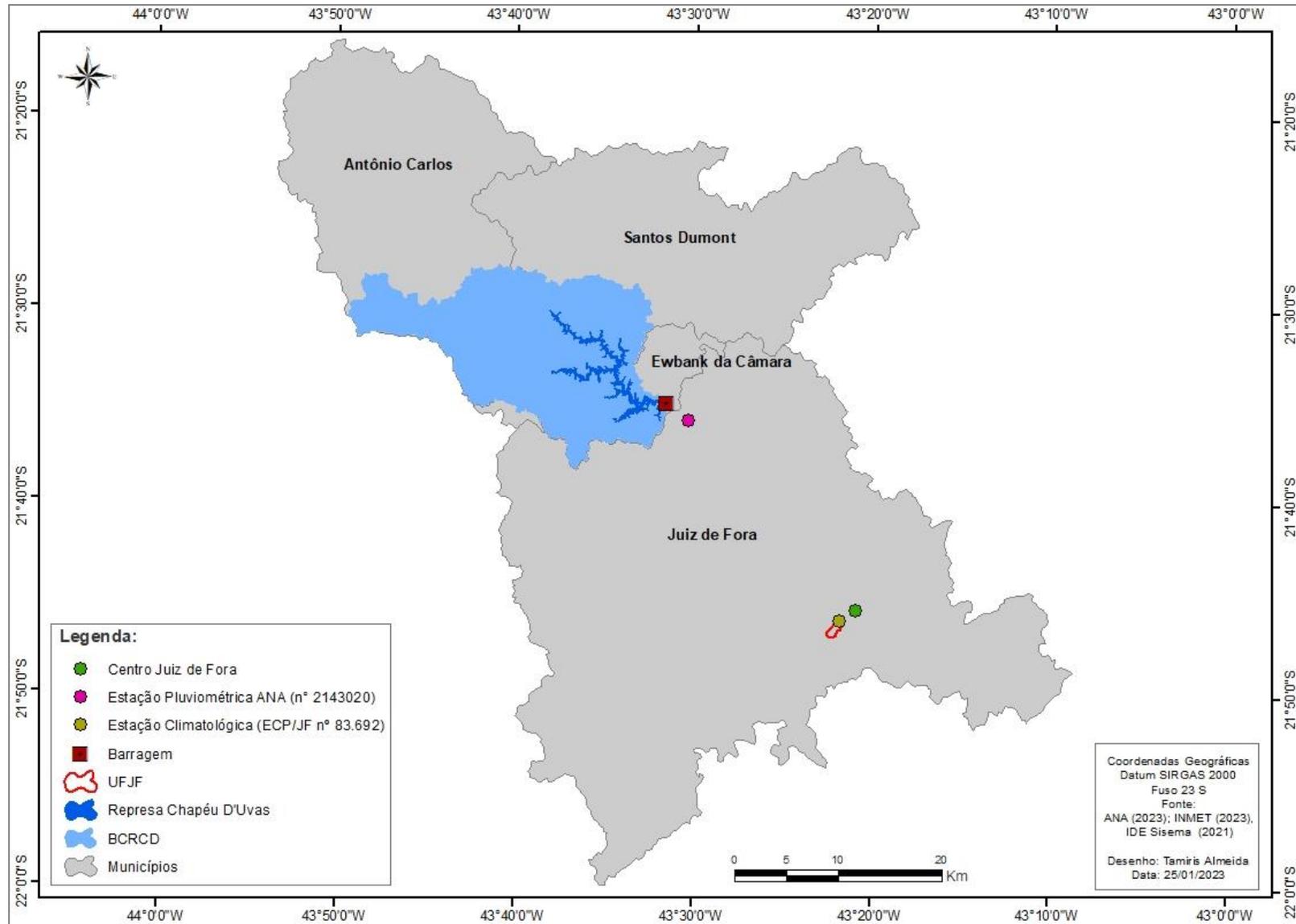


Figura 22: Localização das estações da ANA.

4.2 Aplicação do Método FMEA para mensurar o Risco à Segurança Hídrica

Nessa seção metodológica é apresentado as etapas da aplicação do Método FMEA para calcular o risco a segurança hídrica, que consiste em determinar a escala de graduação dos estressores hídricos, ou seja, calcular o grau da severidade, ocorrência e detectabilidade de cada estressor com relação a qualidade e quantidade de água, em seguida, foi mensurado o risco e identificado em qual grupo risco os estressores se enquadraram para cada ano averiguado de 2014 a 2021.

4.2.1 Escala de Graduação

Segundo a proposta metodológica de Mello (2016), o método FMEA é aplicado com uma escala de 3 (três) níveis de graduação da propriedade e da intensidade da severidade, ocorrência e detectabilidade do impacto dos estressores hídricos sobre a qualidade e quantidade de água. Deve-se analisar conjuntamente a propriedade e a intensidade para determinar o grau adequado de severidade, detectabilidade e ocorrência dos impactos.

A escolha de uma escala em 3 (três) níveis tem a finalidade prática de simplificar o gerenciamento da bacia hidrográfica e da represa, além da praticidade e limitação do espectro das entradas de dados que serão avaliados na análise de risco, que certifica processos de tomadas de decisão mais objetivos e ágeis (MELLO, 2016).

Primeiramente, é demonstrada a escala de graduação das propriedades dos estressores hídricos e, posteriormente, a escala de graduação da intensidade desses estressores, visto que eles agem de diferentes maneiras sobre a qualidade e quantidade de água. Para utilizar o valor da severidade, detectabilidade e ocorrência de cada estressor no cálculo do risco à segurança hídrica, é necessário, primeiramente, avaliar a propriedade e a intensidade de cada estressor de forma complementar.

4.2.1.1 Severidade (S) do Impacto dos Estressores

A seguir é apresentada a metodologia de determinação da severidade do impacto de cada estressor hídrico.

➤ Estressor Uso e Ocupação do Solo

Para medir a severidade do estresse hídrico com relação ao uso e ocupação do solo, determinou-se metodologicamente que o grau de severidade do impacto está atrelado ao CN da bacia hidrográfica. A severidade pode variar em 3 (três) graus, a depender do valor do CN encontrado para a bacia hidrográfica, conforme demonstra a Tabela 22. Essa variação de CN, foi baseada em USDA (1986), pelas condições hidrológicas dos solos rurais.

Tabela 22: Graus de severidade do estressor uso e ocupação do solo

Graus	Severidade do estressor
1	Baixa: $CN \leq 50$
2	Moderada: $50 < CN < 75$
3	Alta: $CN \geq 75$

➤ Estressor Demanda de Água para Abastecimento

Para analisar o estressor hídrico de demanda de água entre o período de 2014 e 2021 foi considerado a oferta de água do reservatório. Isto é, se a oferta de água se manteve dentro dos limites das cotas guias do volume útil do reservatório para captação da vazão de até 900 L/s que a Cesama retira atualmente do reservatório.

Foi adotada como proposta de avaliar a severidade do estressor demanda de água a análise das cotas guias dos níveis de água do reservatório, conforme apresentado na Revisão Bibliográfica no capítulo 2.6. Isto é, o estresse hídrico de demanda ocorre quando a oferta de água do reservatório diminui, podendo chegar a níveis críticos, que podem impedir a captação ou ser necessário a redução da captação para manutenção de níveis aceitáveis de volume do reservatório. As cotas guias de níveis de água demonstram o estado de seca por meio do zoneamento do reservatório. Foi estabelecido que as faixas de zoneamento são atribuídas pela diferença das cotas do volume acumulado, que representam o estado de quantidade de água do reservatório para captação para abastecimento e vazão defluente (Figura 23). Cabe ressaltar que o volume útil do reservatório da represa de Chapéu D'Uvas é de $127 \times 10^6 \text{ m}^3$ na cota máxima $NA_{\max}=741 \text{ m}$.

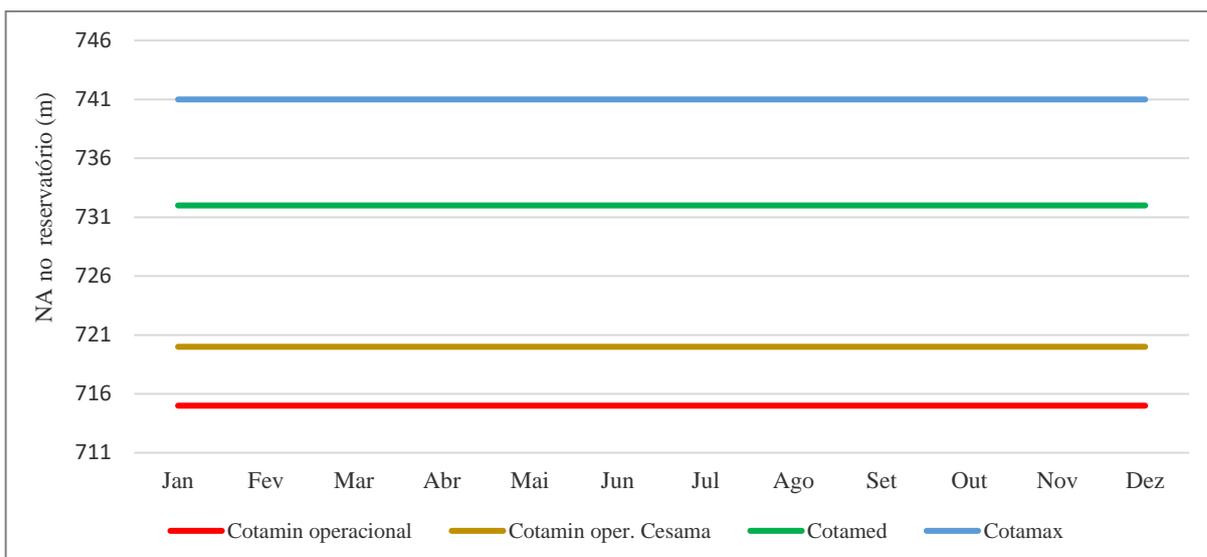


Figura 23: Gráfico do nível d'água na represa de Chapéu D'Uvas

A severidade do estressor foi considerada baixa quando a cota do reservatório está acima do $NA_{\text{médio}}=732,0\text{m}$. A severidade do estressor foi considerada moderada se a cota do nível d'água está entre a $NA=731,0\text{ m}$ e $NA=720,0\text{m}$, e a severidade foi considerada alta se a cota do nível d'água é igual ou menor que $NA=720,0\text{m}$. A Cesama opera o reservatório considerando a cota mínima para captação o $NA_{\text{min}}= 720,0\text{m}$. No entanto, a cota inicial do volume morto é igual ao $NA=715,0\text{m}$. A Tabela 23 apresenta os graus de severidade deste estressor.

Tabela 23: Graus de severidade do estressor demanda de água

Grau	Severidade do estressor
1	Baixa: Cota $NA \geq 732,0\text{ m}$
2	Moderada: $731,0\text{m} > \text{Cota } NA > 720,0\text{m}$
3	Alta: Cota $NA \leq 720,00$

➤ Estressor Poluente Ordinário (Qualidade da Água)

A severidade do impacto sobre a qualidade da água foi agrupada de acordo com as classes do ICE, perfazendo a forma apresentada na Tabela 24:

Tabela 24: Graus de severidade do estressor qualidade da água

Grau	Severidade do estressor
1	Baixa: ICE ótimo ou bom
2	Moderada: ICE Regular
3	Alta: ICE ruim ou péssimo

➤ Estressor Eventos Hidrológicos Extremos

Para determinar o grau de severidade do impacto de eventos hidrológicos extremos de seca, o critério de criticidade utilizado foi a relação entre o índice pluviométrico com as cotas guias dos níveis de água do reservatório. Para isso, foi observado o comportamento da precipitação acumulada anual comparando-a com a Normal Climatológica (NC) local. Concomitantemente, foi observado o nível de água do reservatório e sua relação com eventos hidrológicos de seca e cheia (Tabela 25).

Tabela 25: Graus de severidade do estressor eventos hidrológicos extremos

Grau	Severidade do estressor
1	Baixa: Cota NA \geq 732,0 m e $P_{acum} \geq NC$ ou Cota NA \geq 732,0 e $P_{acum} < NC$
2	Moderada: 731,0m $>$ Cota NA $>$ 720,0m ou $P_{acum} < NC$
3	Alta: Cota NA \leq 720,00 e $P_{acum} < NC$

Sendo assim, a Tabela 26 resume os critérios das propriedades da severidade dos estressores e as 3 (três) possibilidade de graus de estresse hídrico que atuam simultaneamente na bacia hidrográfica e no reservatório.

Tabela 26: Propriedade dos estressores hídricos: Critério do Grau de Severidade do impacto

Grau	Severidade do impacto			
	Uso e ocupação do solo	Demanda para abastecimento	Poluentes ordinários	Eventos hidrológicos extremos
1 (baixo)	$CN \leq 50$	Cota NA \geq 732,0 m	ICE Ótimo ou Bom	Cota NA \geq 732,0 m e $P_{acum} \geq NC$ ou Cota NA \geq 732,0 e $P_{acum} < NC$
2 (moderado)	$50 < CN < 75$	731,0m $>$ Cota NA $>$ 720,0m	ICE Regular	731,0m $>$ Cota NA $>$ 720,0m ou $P_{acum} < NC$
3 (alto)	$CN \geq 75$	Cota NA \leq 720,00	ICE Ruim ou Péssimo	Cota NA \leq 720,00 e $P_{acum} < NC$

De posse das propriedades da severidade do impacto dos estressores hídricos, é necessário verificar a atuação dos estressores com relação a intensidade quali - quantitativa na

bacia hidrográfica e no manancial de água de abastecimento. Os estressores agem em intensidades diferentes sobre a qualidade e quantidade de água.

O grau da intensidade da severidade do impacto varia de 1 (baixa) a 3 (alta), e a intensidade da ação do estressor tem uma variação mínima ou máxima.

Na metodologia desenvolvida por Mello (2016), é atribuído efeito mínimo e máximo igual a 1 sobre a quantidade de água pelo estressor uso e ocupação do solo. Segundo a autora, esse estressor exerce um impacto ainda pouco conhecido sobre a quantidade de água relacionada à segurança hídrica. Entretanto, na proposta metodológica desta dissertação de mestrado, foi atribuído um efeito que varia de 1 (mínimo) a 3 (máximo). Visto que na fundamentação teórica sobre os fatores de estresse hídrico, os autores Bembem (2020) e Rocha e Costa (2015) e Bayer et al. (2020) alertam para as mudanças no balanço hídrico de bacias hidrográficas devido as alterações do uso solo, e Machado (2012) enfatiza que a intensa transformação do solo na BCRC e os processos erosivos tem assoreado a represa de Chapéu D'Uvas, sendo que tais fatos corroboram para impactos na vida útil da represa com a diminuição da quantidade de água.

O estressor demanda de água para abastecimento exerce pouca variação no efeito da qualidade, logo, foi considerado o valor 1 tanto para a variação mínima quanto para a máxima. Diferentemente para a quantidade de água que, na segurança hídrica, a demanda afeta de forma significativa, variando de 1 (mínimo) a 3 (máximo) a intensidade.

Os poluentes ordinários tem um feito desprezível na quantidade de água, logo, sua intensidade foi considerada nula. Porém, exerce efeito sobre a qualidade, variando sua intensidade de 1 (mínimo) a 3 (máximo). Se a bacia hidrográfica for urbana, recebe maior aporte de carga poluidora, a intensidade da severidade do impacto será máxima e igual a 3. Se a bacia hidrográfica for rural com baixa carga orgânica, a intensidade será baixa, com valor igual a 1. Pode haver variações, a depender do uso do solo da bacia hidrográfica do estudo e das concentrações da carga poluidora.

Já o estressor eventos hidrológicos extremos causa alterações na quantidade e qualidade de água em curto espaço de tempo, com intensidade mínima igual a 1 e máxima igual a 3.

Nesse sentido, a Tabela 27 apresenta a graduação da intensidade extrema de cada estressor, a fim de refinar a metodologia empregada na determinação do grau da severidade do impacto. Sendo que, o grau da intensidade da severidade do impacto varia de 1 (baixa) a 3 (alta), e a intensidade da ação do estressor tem uma variação mínima ou máxima. Essa proposta

de análise da intensidade é aplicada conjuntamente de forma relacional com os critérios das propriedades da severidade dos estressores hídricos.

Tabela 27: Faixa de graus de severidade do impacto dos estressores hídricos

Estressor	Grau de severidade do impacto			
	Efeito quantitativo		Efeito qualitativo	
	min	máx.	min	máx.
Uso e ocupação do solo	1	3	1	3
Demanda de água para abastecimento	1	3	1	1
Poluentes ordinários	-	-	1	3
Eventos hidrológicos extremos	1	3	1	3

Fonte: Adaptado de Mello (2016).

4.2.1.2 Ocorrência (O) do Impacto dos Estressores Hídricos

A Tabela 28 apresenta as propriedades dos critérios do grau de ocorrência de cada estressor empregado na metodologia.

Tabela 28: Critério do Grau da Ocorrência do Estressor

Grau	Ocorrência do estressor
1	Casos isolados
2	Ocorrência irregular, ou regular segundo padrões sazonais ou interanuais
3	Ocorrência regular ou quase contínua

Fonte: Mello (2016).

A ocorrência dos estressores depende da frequência dos efeitos que a água bruta esteja vulnerável. Os estressores uso e ocupação do solo, eventos hidrológicos extremos e demanda de água para abastecimento têm uma frequência alta em face de uma baixa intensidade. Segundo Mello (2016), a retirada da cobertura vegetal em pequenas áreas ocorre mais vezes em uma alta frequência do que grandes áreas desmatadas com grandes alterações do uso do solo; os eventos hidrológicos extremos ocorrem com estiagens (secas) menos intensas com mais frequência do que eventos de estiagens mais severos em menor frequência; a demanda de menores vazões é mais frequente, tendo maior grau de ocorrência, do que uma demanda de altas vazões de água bruta. Já os poluentes ordinários têm intensidade máxima em áreas urbanas

devido às maiores descargas de poluição do que em áreas rurais, onde a intensidade é menor (MELLO, 2016).

Dessa forma, a Tabela 29 demonstra as faixas dos graus de ocorrência de cada estressor e a atribuição das intensidades.

Tabela 29: Graus de ocorrência dos estressores hídricos

Estressor	Grau de ocorrência do estressor	
	Intensidade mínima	Intensidade máxima
Uso e ocupação do solo	3	1
Demanda de água para abastecimento	3	1
Poluentes ordinários	1	3
Eventos hidrológicos extremos	3	1

Fonte: Mello (2016).

4.2.1.3 Detectabilidade (D) do Impacto dos Estressores Hídricos

A Tabela 30 evidencia as propriedades dos critérios do grau de detectabilidade do impacto de cada estressor hídrico, no qual é analisada a condição de detecção do estressor de forma imediata ou por medição mensurável ou medição complexa.

Tabela 30: Critério do Grau de Detectabilidade do Estressor

Grau	Detectabilidade do estressor
1	Imediatamente detectável; por exemplo, que apresente manifestação sensorial (visual, olfativa)
2	Detectável por medição expedita de suas características mensuráveis; por exemplo, por medição realizada diretamente em campo; série histórica disponível
3	Detectável por medição complexa; por exemplo, precedida de amostragem e medição realizada em laboratório, ou avaliada por processamento de imagens de satélite; série histórica disponível

Fonte: Mello (2016).

A detectabilidade do estressor depende das características da bacia hidrográfica, de pesquisas desenvolvidas na bacia hidrográfica, da rede de monitoramento atuante e das tecnologias empregadas para monitorar os parâmetros relevantes da gestão das águas da bacia hidrográfica (MELLO, 2016). Assim sendo, a Tabela 31 apresenta as faixas de graus de intensidade da detectabilidade dos estressores que varia de 1 (fácil), 2 (moderado) e 3 (difícil), isto é, representa o grau de dificuldade de detectar o estressor. Observa-se que a intensidade mínima corresponde ao valor máximo (3-difícil) do grau de detecção. Haja vista, são considerados pela autora os casos de impactos severos mais fáceis de detectar, já os impactos de menores proporções tem mais dificuldade de detecção.

Tabela 31: Grau de detectabilidade dos estressores

Estressor	Grau de detectabilidade do estressor	
	Intensidade mínima	Intensidade máxima
Uso e ocupação do solo	3	1
Demanda de água para abastecimento	3	1
Poluentes ordinários	3	1
Eventos hidrológicos extremos	3	1

Fonte: Mello (2016).

4.2.2 Medida do Risco à Segurança Hídrica

De posse dos graus da severidade, detectabilidade e da ocorrência de cada estressor hídrico, calculou-se a medida do risco de cada um dos estressores hídricos propostos. O risco relaciona-se com a condição de “falha” do método FMEA, sendo calculado pela Equação 10:

$$R_{sh,w} = S^{w_S} \cdot O^{w_O} \cdot D^{w_D} \quad (\text{Equação 10})$$

Onde:

$R_{sh,w}$: medida do risco

S: severidade do impacto

O: Ocorrência do impacto

D: detectabilidade do impacto

w_S , w_O e w_D são os pesos atribuídos a S, O e D, respectivamente.

Mello (2016) ressalta que a severidade do impacto tem uma importância maior, visto que ela pode determinar como o estressor age no recurso hídrico. Nesse sentido, a severidade teve um peso maior do que a ocorrência e a detectabilidade. A Tabela 32 apresenta os pesos atribuídos para cada propriedade dos estressores:

Tabela 32: Pesos atribuídos as propriedades dos estressores

Propriedade	Peso	
	Símbolo	Valor
Severidade do impacto [S]	w_S	2.25
Probabilidade de ocorrência do estressor [O]	w_O	0.75
Detectabilidade do estressor [D]	w_D	0.25

Fonte: Mello (2016).

As faixas de critérios dos grupos de riscos são apresentadas na Tabela 33, em que o valor encontrado para $R_{sh,w}$ foi analisado conforme: os grupos de riscos aceitável, tolerável e inaceitável.

Tabela 33: Grupos de risco

Grupo de risco	Critério	Medida do risco
Aceitável	S=1 e O=1,2	$R_{sh,w} < 3,5$
Tolerável	S=2 ou (S=1 e O=3)	$3,5 \leq R_{sh,w} \leq 7,0$
Inaceitável	S=3 ou (S=2 e O=3)	$R_{sh,w} > 7,0$

Fonte: Mello (2016).

A Tabela 34 apresenta todas as medidas de risco possíveis determinadas pela modelagem de análise de riscos desenvolvidas por Mello (2016), que podem estar dentro das faixas aceitável, tolerável e inaceitável.

Tabela 34: Medidas de risco possíveis

S	O	D	Rshw
1	1	1	2,1
1	1	2	2,2
1	1	3	2,5
1	2	1	2,7
1	2	2	2,9
1	2	3	3,2
1	3	1	3,5
1	3	2	3,8
1	3	3	4,1
2	1	1	4,4
2	1	2	4,8
2	1	3	5,2
2	2	1	5,7
2	2	2	6,2
2	2	3	6,7
2	3	1	7,4
2	3	2	8,1
2	3	3	8,8
3	1	1	10
3	1	2	11
3	1	3	12
3	2	1	13
3	2	2	14
3	2	3	15
3	3	1	17
3	3	2	18
3	3	3	20

Fonte: Mello (2016)

De posse dos resultados do grupo de risco de cada estressor hídrico, tanto para qualidade quanto para quantidade, obtêm-se o diagnóstico do risco à segurança hídrica de cada estressor, podendo ser um risco aceitável, que não requer ações além do monitoramento do comportamento mensurável dos estressores. Para resultados tolerável ou inaceitável são necessários ações de gestão ambiental e gerenciamento do recurso hídrico, com implementações de medidas proporcionais a medida do risco encontrada.

A medida do risco ($R_{sh,w}$) funciona como um indicador da segurança hídrica da água bruta, por meio da mensuração da quantificação do estresse hídrico de uma bacia hidrográfica e do manancial (MELLO, 2016). Quando um ou mais estressores agem simultaneamente, os riscos associados poderão ser mensurados e priorizados, segundo o indicador (aceitável, tolerável e inaceitável). Assim, os gestores poderão tomar ações cabíveis, preventivas e/ou emergenciais para restaurar a segurança hídrica.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os estressores hídricos foram definidos e proposto a metodologia de cálculo da severidade, ocorrência e detectabilidade, que serão avaliados nesta seção. Toda a análise do risco a segurança hídrica terá o foco na área da bacia a montante do ponto de captação de água para abastecimento humano da cidade de Juiz de Fora. Foram definidos 4 (quatro) estressores hídricos, os quais terão sua identificação e características mensuráveis demonstrados nesta seção do estudo, para posteriormente serem empregados no cálculo do grau do risco a segurança hídrica sobre a qualidade e quantidade de água.

Para este estudo de caso foram tratados e sistematizados os dados fornecidos pela Cesama sobre a qualidade da água no ponto de captação e os dados dos níveis do volume e cotas d'água da represa. Além do tratamento das imagens de satélite do CIBERS 4A e Landsat-8 e dos dados pluviométricos disponibilizados pela ANA.

5.1 Situação do Estressor Uso e Ocupação do Solo

O estressor uso e ocupação do solo é proveniente dos usos preponderantes da BCRCDD, que determinam os efeitos sobre o escoamento superficial e conseqüentemente contribuem para os impactos na qualidade e quantidade de água. Serão apresentados os resultados obtidos sobre a situação desse estressor no mapeamento realizado em 2015 e comparado com a situação mais atual em 2021, para investigar se houve mudanças e suas implicações sobre o estresse acometido na BCRCDD.

5.1.1 Mapeamento do Uso e Ocupação do Solo em 2015 e em 2021

A análise do comportamento temporal do uso e ocupação do solo é uma importante ferramenta de monitoramento do comportamento de bacias hidrográficas. Avaliar o grau de estresse hídrico devido às mudanças do uso e ocupação do solo contribui na análise da dimensão das alterações na qualidade e quantidade de água, relacionando-se ao balanço hídrico e seus desequilíbrios na bacia e os impactos das mudanças do uso do solo que geram efeitos sobre os processos erosivos, transporte de sedimentos, infiltração de água no solo, evaporação e escoamento superficial. A Figura 24 demonstra espacialmente o resultado dos usos e ocupação do solo nos anos de 2015 e 2021.

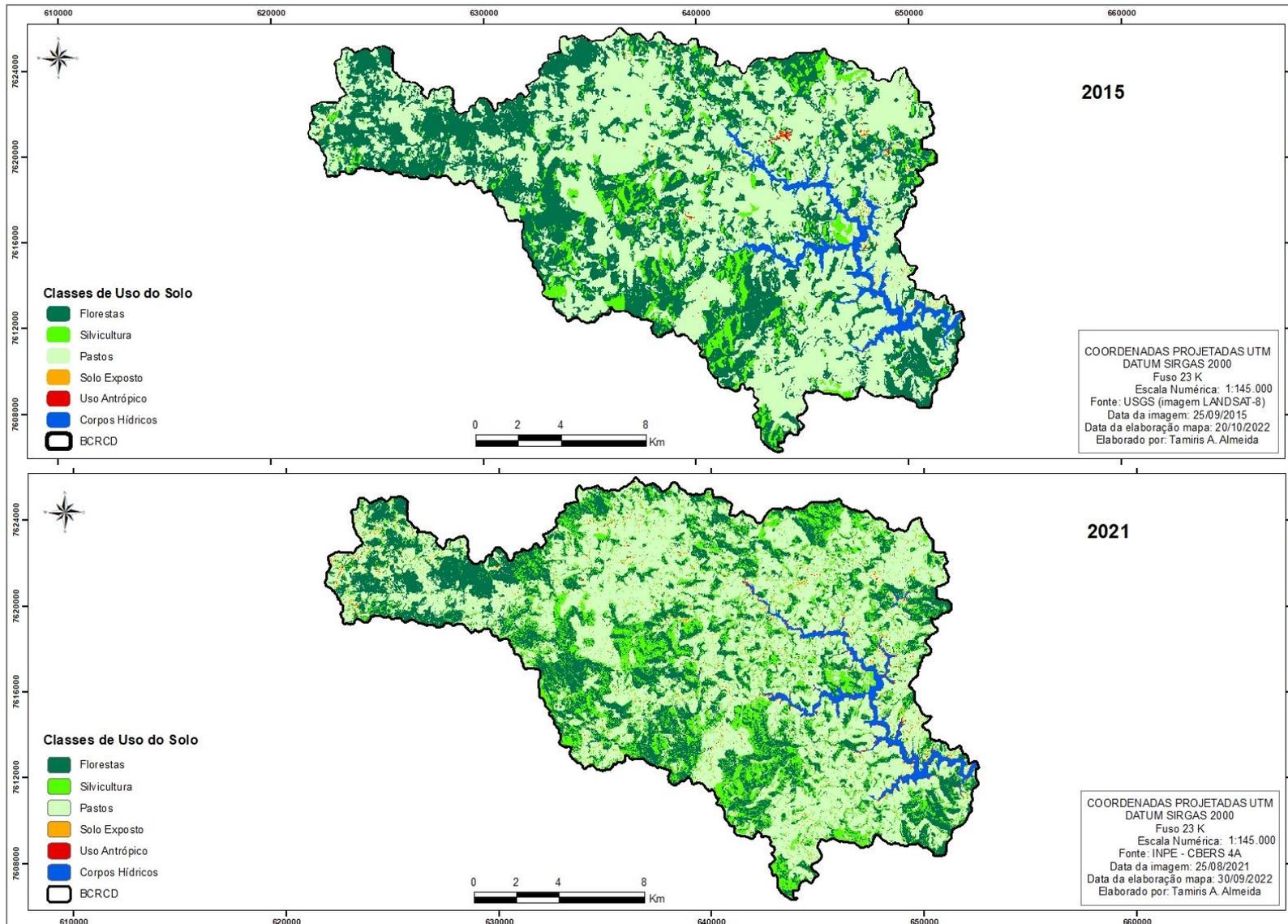


Figura 24: Uso e ocupação do solo em 2015 e 2021

A partir do mapeamento, percebe-se que a BCRC D era predominantemente ocupada por atividades agropecuárias, tanto em 2015 quanto em 2021, sendo que os usos do solo preponderantes eram os pastos e a silvicultura, como demonstra a Tabela 35 e a Figura 25.

Comparando os mapas de uso e ocupação do solo entre os anos de 2015 e 2021, nota-se alterações relevantes, mesmo considerando um lapso temporal de análise de apenas 6 anos. Evidencia-se que houve uma diminuição de 111,2 km² de florestas em 2015 para 84,1 km² em 2021, representando uma perda de 8,7% da área total da bacia no período analisado. Concomitantemente com a diminuição das florestas, houve também uma diminuição dos pastos em 3,1%. Em contrapartida, houve um aumento de solos expostos em 0,9% no período. O uso antrópico passou de 0,4 km² em 2015 para 1,4 km², representado um aumento de 0,3% em 2021 e a silvicultura obteve também um percentual significativo de aumento, passou de 23,2 km² em 2015 para 56,4 km² em 2021, representa 10,6% de aumento para essa classe no período de estudo.

Tabela 35: Uso e ocupação do solo na BCRC D em 2015 e 2021

2015			2021			Diferença (2021-2015)
Classes de Uso do Solo	Área (km ²)	%	Classes de Uso do Solo	Área (km ²)	%	
Florestas	111,3	35,5%	Florestas	84,1	26,8%	- 8,7%
Silvicultura	23,2	7,4%	Silvicultura	56,4	18,0%	+ 10,6%
Pastos	169,4	54,1%	Pastos	159,6	50,9%	- 3,1%
Solo Exposto	1,6	0,5%	Solo Exposto	4,3	1,4%	+ 0,9%
Uso Antrópico	0,4	0,1%	Uso Antrópico	1,4	0,5%	+ 0,3%
Corpos Hídricos	7,3	2,3%	Corpos Hídricos	7,4	2,4%	0,0%
Soma	313,2	100,0%	Soma	313,2	100,0%	

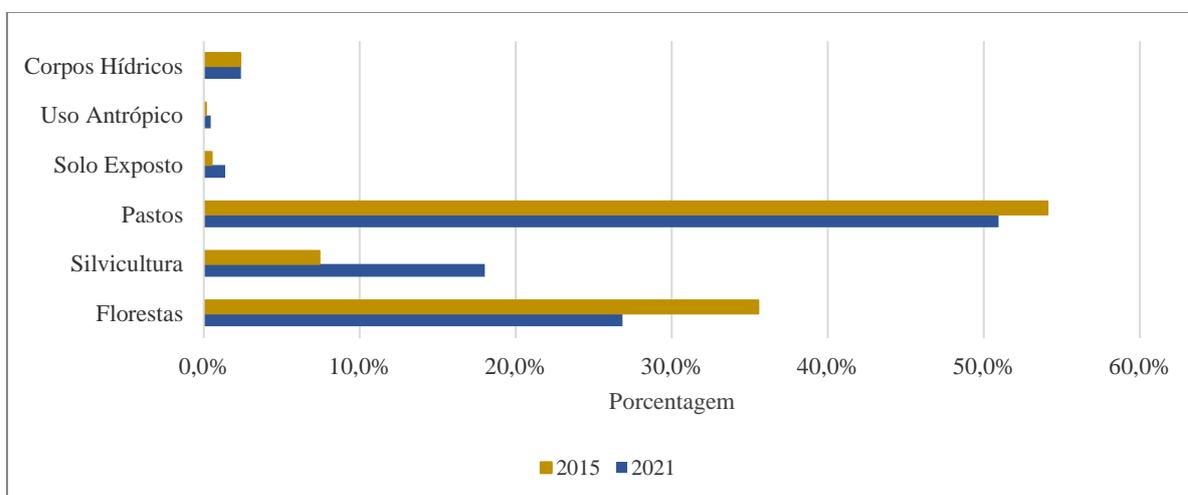


Figura 25: Gráfico comparativo das mudanças de uso e ocupação do solo entre 2015 e 2021

A silvicultura avança na BCRC, ocupando tanto áreas de pastagens quanto de florestas. Segundo Machado (2010), é uma atividade que recebe incentivo na região, principalmente no município de Santos Dumont, onde a produção de eucalipto avança até a borda das matas e substitui as florestas nativas de forma progressiva. Percebe-se, pelo mapa de 2021, que tem uma resolução espectral de 2 metros, esse avanço da silvicultura não somente pelas bordas das florestas, mas também as substituindo em várias regiões da BCRC. Além desse fato, a silvicultura também vem ocupando as margens e/ou áreas próximas da represa Chapéu D’Uvas em vários locais.

As Figuras 26, 27 e 28 apresentam dados de IBGE (2022a, 2022b, 2022c), apontando o aumento da silvicultura nos municípios onde está compreendida a BCRC. Em Santos Dumont/MG, em 2015, havia 675 ha plantados de eucalipto, saltou para 9.962 ha em 2021, representando um aumento de 14,5% da área total do município. Em Ewbank da Câmara, eram 130 ha de eucalipto plantados em 2015 e, já em 2021, passou para 1.380 ha, correspondendo a um aumento de 12,0% sobre a área total do município. Em Antônio Carlos, havia 800 ha de eucalipto plantado em 2015 já em 2021 passou para 2.620 ha, representa um aumento de 3,45% sobre a área do município. Ressalta-se que o ano de 2017 foi considerado o auge da produção de eucalipto nesses municípios, como demonstram os gráficos da Figuras, tendo diminuído um pouco nos anos subsequentes.

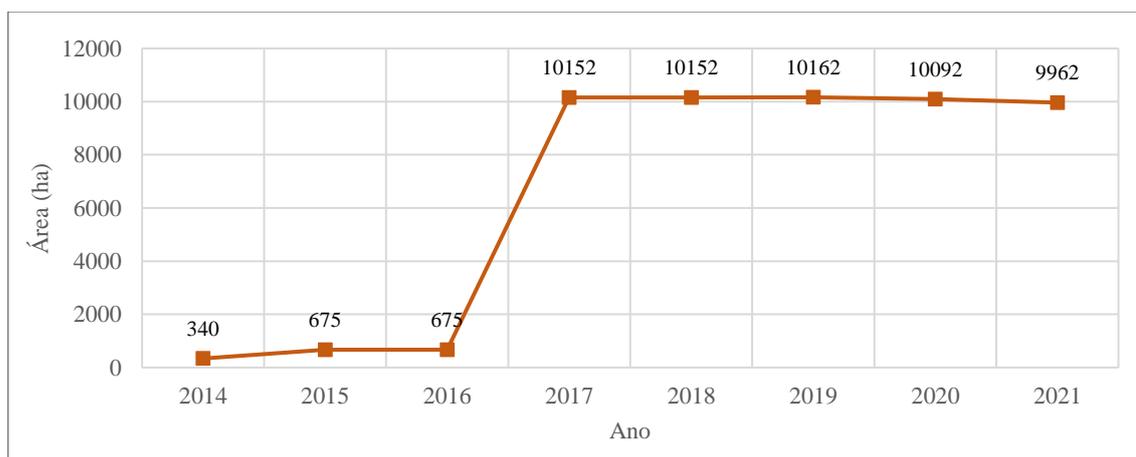


Figura 26: Área de Silvicultura no município de Santos Dumont/MG entre 2014 e 2021
Fonte: IBGE (2022c)

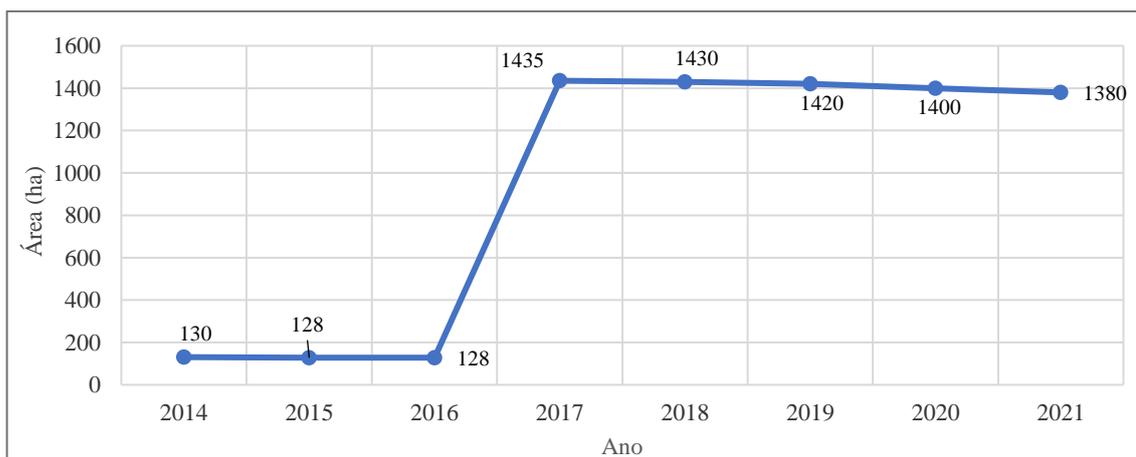


Figura 27: Área de Silvicultura no município de Ewbank da Câmara/MG entre 2014 e 2021
Fonte: IBGE (2022b)

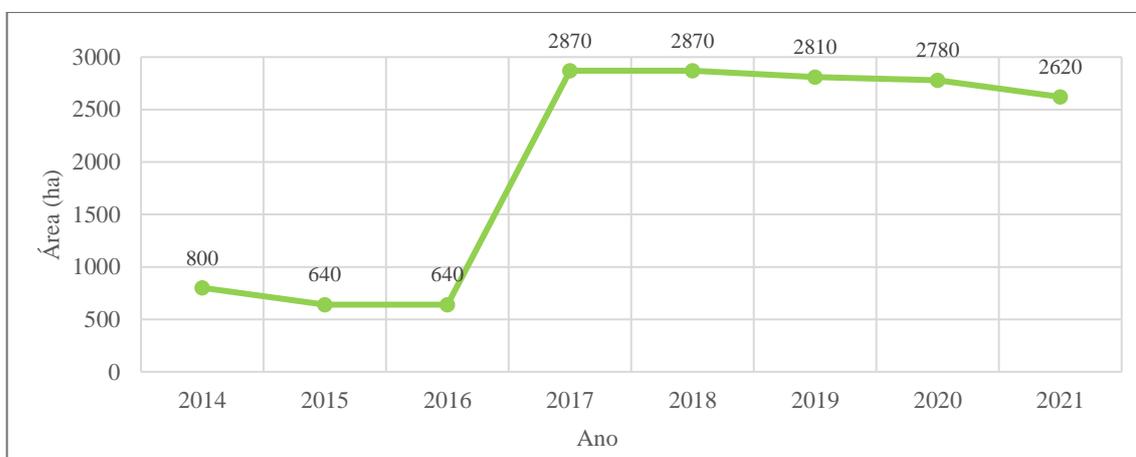


Figura 28: Área de Silvicultura no município de Antônio Carlos/MG entre 2014 e 2021
Fonte: IBGE (2022a)

Chama a atenção também, na comparação entre as imagens de 2015 e 2021, o aumento dos usos antrópicos e dos solos expostos nas áreas mais próximas às margens da represa Chapéu D’Uvas. Como foi descrito no tópico 3.7 – Conflitos na BCRCO, o aumento de loteamentos e condomínios nas margens da represa com a invasão das APP’s e a expansão da silvicultura é recorrente na BCRCO e na região do entorno da represa.

A Figura 29 e a Tabela 36 apresentam os resultados relacionados as mudanças ocorridas no uso do solo por unidades hidrográficas. Especificamente sobre a Tabela 37, a porcentagem negativa indica o quanto diminuiu para as classes de solo, em função da análise comparativa entre as alterações dos respectivos anos para cada classe em cada unidade hidrográfica, o mesmo cálculo foi feito para as porcentagens positivas que representam o aumento das classes de solo.

Verifica-se que na unidade hidrográfica B 01, onde está localizada a nascente do rio Paraibuna, um dos principais afluentes do rio Paraíba do Sul, que forma a represa Chapéu

D'Uvas, teve a maior diminuição da área de florestas, além de aumento das áreas de pastos, solo exposto, usos antrópicos e, principalmente, da silvicultura. Percebe-se que foi feita uma substituição significativa de áreas de florestas por silvicultura, visto que a perda de florestas corresponde a 42,92% enquanto a silvicultura aumentou 45,45% no mesmo período. Em todas as unidades hidrográficas, o aumento da silvicultura foi expressivo tanto na margem direita quanto esquerda da represa. A diminuição das florestas foi maior também nas unidades hidrográficas BD 02, BD 03, BD 06 e BE 10, sendo a margem direita da represa a mais afetada pela diminuição das florestas.

Houve um maior aumento dos pastos nas unidades B 01 e BD 02 e uma diminuição nas demais. Nota-se ainda que os solos expostos e os usos antrópicos aumentaram em todas as unidades, exceto para os solos expostos na BE 13 e usos antrópicos na BE 11, que diminuíram os percentuais dessas classes. Mesmo que os solos expostos e os usos antrópicos não tenham sido expressivos em dimensões, tal como foi a silvicultura, todavia, deve-se ter um alerta de que essas classes vêm aumentando e medidas legais de gestão do uso do solo devem ser adotadas para controlar as intervenções, principalmente nas margens da represa de Chapéu D'Uvas.

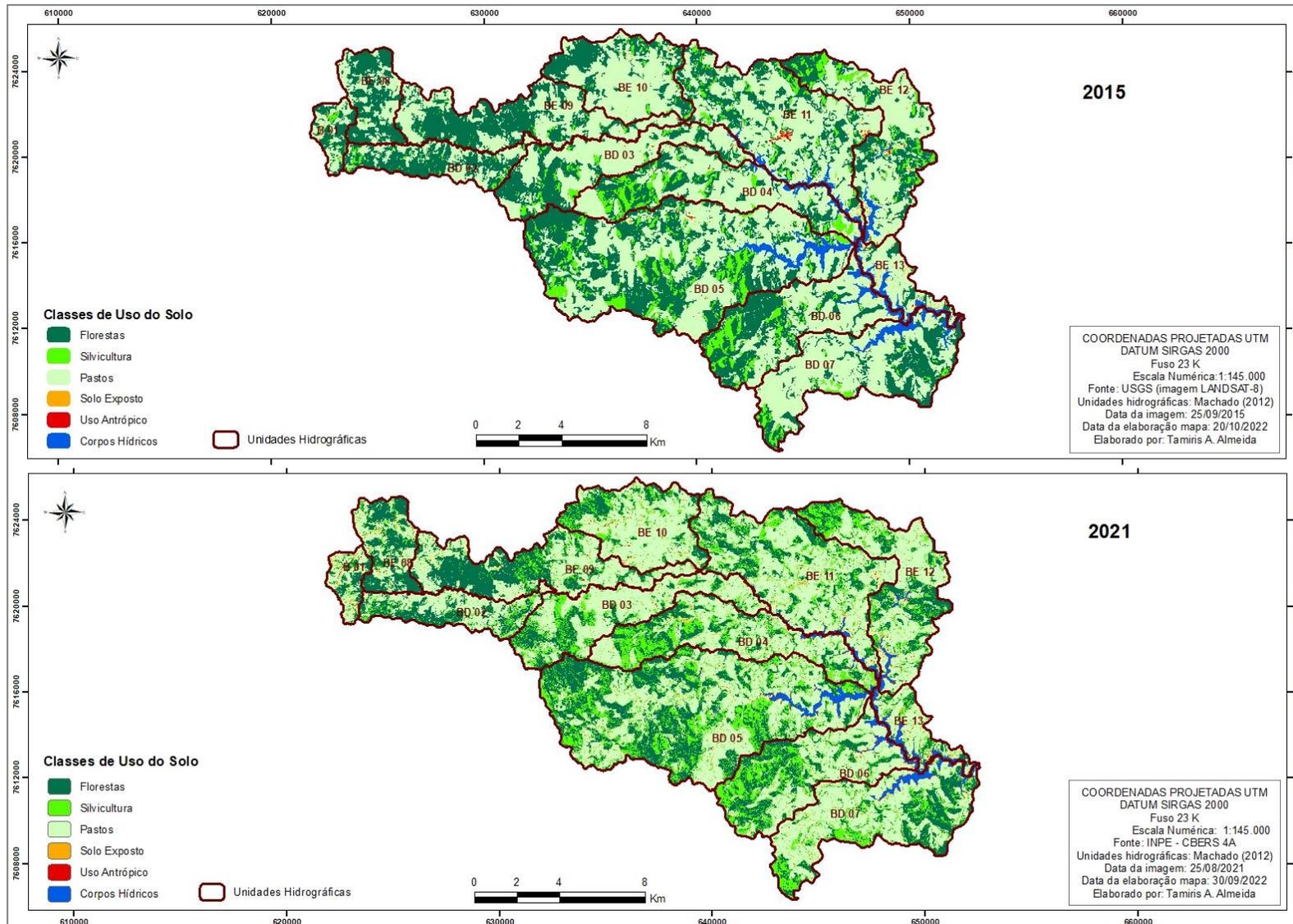


Figura 29: Usos e Ocupação do Solo por Unidade Hidrográfica

Tabela 36: Determinação das áreas de uso e ocupação do solo e da percentagem de alterações entre 2015 e 2021 por unidade hidrográfica da BCRC

Unidades hidrográficas	Florestas			Silvicultura			Pastos			Solo Exposto			Uso Antrópico		
	2015	2021	%	2015	2021	%	2015	2021	%	2015	2021	%	2015	2021	%
	(km ²)	(km ²)		(km ²)	(km ²)		(km ²)	(km ²)		(km ²)	(km ²)		(km ²)	(km ²)	
Unidade B 01	2,40	1,37	-42,92	0,24	0,44	+45,45	2,35	2,51	+6,81	0,06	0,30	+80,00	0,00	0,07	+100,00
Unidade BD 02	6,94	4,35	-37,32	0,57	1,56	+63,46	4,75	6,24	+31,37	0,00	0,10	+97,00	0,00	0,01	+100,00
Unidade BD 03	7,01	4,33	-38,23	1,28	4,05	+68,40	13,52	13,21	-2,29	0,04	0,20	+80,00	0,01	0,05	+82,00
Unidade BD 04	6,95	5,52	-20,58	3,37	6,32	+46,68	14,15	12,50	-11,66	0,12	0,34	+64,71	0,03	0,12	+77,97
Unidade BD 05	25,98	21,27	-18,13	7,33	14,25	+48,56	30,70	27,91	-9,09	0,20	0,70	+71,43	0,04	0,22	+81,82
Unidade BD 06	9,93	6,97	-29,81	2,99	5,94	+49,66	12,25	12,02	-1,88	0,15	0,24	+37,50	0,00	0,12	+100,00
Unidade BD 07	8,47	6,73	-20,54	1,38	5,39	+74,40	19,18	16,57	-13,61	0,12	0,42	+71,43	0,01	0,18	+94,51
Unidade BE 08	6,26	5,33	-14,86	0,04	0,88	+95,45	4,45	4,19	-5,84	0,00	0,24	+99,58	0,00	0,05	+100,00
Unidade BE 09	11,95	9,69	-18,91	0,44	2,60	+83,08	12,03	11,70	-2,74	0,02	0,32	+93,75	0,00	0,04	+97,67
Unidade BE 10	6,51	3,92	-39,78	0,60	2,95	+79,66	13,01	12,83	-1,38	0,06	0,34	+82,35	0,02	0,06	+64,29
Unidade BE 11	10,37	7,42	-28,45	2,35	6,15	+61,79	22,85	22,05	-3,50	0,22	0,45	+51,11	0,23	0,19	-20,42
Unidade BE 12	7,48	6,22	-16,84	2,54	4,98	+49,00	14,86	13,62	-8,34	0,24	0,36	+33,33	0,06	0,16	+61,78
Unidade BE 13	1,05	0,96	-8,57	0,08	0,89	+91,01	5,25	4,20	-20,00	0,33	0,30	-10,00	0,03	0,15	+77,33
Somatório	111,3	84,08	- 24,46	23,21	56,4	+41,16	169,35	159,55	- 5,79	1,56	4,31	+63,71	0,43	1,41	+69,57

5.1.2 Cálculo do *Curve Number* (CN)

As Tabelas 37 e 38 apresentam os resultados do cálculo do CN. Elas indicam um aumento de 1 (ponto) do CN da bacia do ano de 2015 para o ano de 2021. Um pequeno acréscimo do CN pode aumentar bastante o escoamento superficial, inclusive dobrar o escoamento.

Tabela 37: Cálculo CN da BCRCD no ano de 2015

Tipo de solo	Classes de uso do solo	Condição hidrológica	Km ²	CN	ÁreaxCN
Cambissolo	Floresta	Boa	28,35	65	1843
	Silvicultura	Boa	1,74	72	125
	Pastos	Razoável	17,82	79	1408
	Solo Exposto	Precário	0,07	86	6
	Uso Antrópico		0,00	82	0
Latosolo amarelo	Floresta	Boa	31,05	48	1490
	Silvicultura	Boa	9,61	58	557
	Pastos	Razoável	44,85	69	3095
	Solo Exposto	Precário	0,18	79	14
	Uso Antrópico		0,08	74	6
Latosolo vermelho-amarelo	Floresta	Boa	51,90	48	2491
	Silvicultura	Boa	11,88	58	689
	Pastos	Razoável	106,68	69	7361
	Solo Exposto	Precário	1,35	79	107
	Uso Antrópico		0,35	74	26
				CN	63

Tabela 38: Cálculo CN da BCRC D no ano de 2021

Tipo de solo	Classes de uso do solo	Condição hidrológica	Km ²	CN	ÁreaxCN
Cambissolo	Floresta	Boa	22,55	65	1466
	Silvicultura	Boa	6,80	72	490
	Pastos	Razoável	17,59	79	1390
	Solo Exposto	Precário	0,81	86	70
	Uso Antrópico		0,15	82	12
Latosolo amarelo	Floresta	Boa	23,26	48	1116
	Silvicultura	Boa	19,61	58	1137
	Pastos	Razoável	40,97	69	2827
	Solo Exposto	Precário	0,89	79	70
	Uso Antrópico		0,15	74	11
Latosolo vermelho-amarelo	Floresta	Boa	38,20	48	1834
	Silvicultura	Boa	29,97	58	1738
	Pastos	Razoável	100,94	69	6965
	Solo Exposto	Precário	2,60	79	205
	Uso Antrópico		1,10	74	81
				CN	64

5.1.3 Situação do Estressor Hídrico Uso e Ocupação do Solo em 2014/2015 e em 2021

A Tabela 39 demonstra o cenário do estressor hídrico uso e ocupação do solo, por meio do valor encontrado do CN dos respectivos anos analisados.

Tabela 39: Cenário do estressor hídrico uso e ocupação do solo em 2014/2015 e 2021 na BCRC D

Característica Mensurável	Parâmetro estresse hídrico	Valor 2014/2015	Valor 2021
Classes de uso e ocupação do solo	<i>Curve Number (CN)</i>	63	64

5.2 Estressor Demanda de Água para Abastecimento

5.2.1 Usuários de Água na BCRC D

Na BCRC D, foram identificados 30 usuários de usos insignificantes de captação de água superficial, nascentes e cisternas, que juntos demandam 8,82 L/s de água (Tabela 40 e Anexo

II). Não foi encontrado cadastros de usuários de outorgas no sistema do governo do estado de Minas Gerais e nem no sistema federal da ANA.

Na represa de Chapéu D’Uvas, somente a Cesama capta água para o abastecimento de Juiz de Fora, que corresponde a uma vazão outorgada de 2.257 L/s (Tabela 41). Atualmente, a empresa capta para abastecer Juiz de Fora uma vazão de 900 L/s. Está previsto pela revisão do Plano de Saneamento Básico do município de Juiz de Fora, no pior cenário, um aumento médio da demanda de água de 1.644,23 L/s até o ano de 2.042 (AMPLA, 2022). Esse aumento da demanda está abarcado pela outorga atual da Cesama.

Mesmo que a representatividade dos usuários cadastrados de água ainda seja pequena em uma bacia hidrográfica consideravelmente grande, ressalta-se que o uso e ocupação do solo da bacia vem sendo alterado e os usos antrópicos vêm aumentando. Logo, esses usuários de água tendem a aumentar nos próximos anos. Enfatiza-se também que, na bacia podem existir usuários de água não regularizados/outorgados, esse número inclusive pode aumentar ao longo do tempo, e, dificulta uma análise mais aprofundada sobre a oferta de água na BCRCD. Além disso, esses usuários não cadastrados, provocam impacto e influenciam o balanço hídrico do reservatório.

A determinação da severidade do estressor de demanda de água levou em consideração somente os usuários que captam água diretamente da represa Chapéu D’Uvas, que, neste caso, é somente a Cesama, autarquia de água e esgoto do município de Juiz de Fora.

Tabela 40: Relação de usos insignificantes de água cadastrados na BCRCD

Tipo de Uso	Modo de Uso	Vazão (L/s)	Percentual da vazão outorgada em relação a total	Uso da água	Número de intervenções
Superficial	Captação em corpo d'água (rios, lagos naturais, etc)	6,02	68%	Irrigação, dessedentação animal e consumo humano	8
Subterrânea	Captação de água em nascente ou cisterna	2,8	32%	Consumo humano, dessedentação animal	20
Superficial	Barramento em curso d'água sem captação*	--	--	Paisagismo	2
Total		8,82	100%	-----	30

*Por não haver captação, não há vazão a ser outorgável.

Fonte: IDE-SISEMA (2023)

Tabela 41: Outorga de água concedida na represa Chapéu D’Uvas

Tipo de Uso	Modo de Uso	Vazão (L/s)	Uso da água
Superficial	Captação de água na represa Chapéu D’Uvas	2.257	Abastecimento humano

Fonte: ANA (2022a)

A Figura 30 demonstra a distribuição espacial dos usos insignificantes da BCRCO e da outorga na represa concedida à Cesama, permitindo observar uma dispersão dos usuários. Porém, uma maior concentração ocorre próxima à represa de Chapéu D’Uvas e na margem esquerda da bacia hidrográfica.

5.1.1 Situação da Oferta de Água no Reservatório de Chapéu D’Uvas

A Cesama iniciou o monitoramento das cotas do NA e volume acumulado da represa de Chapéu D’Uvas em janeiro de 2003.

A Figura 31 apresenta o resultado do monitoramento dos níveis de água da represa, nota-se que nos anos de 2014 e 2015 o NA da represa esteve abaixo da Cota Média ($NA_{med}=732,0m$), atingindo o pior nível em outubro de 2014 ($NA=729,9m$). Mesmo assim, o volume útil da represa se manteve satisfatório no período analisado, mantendo níveis adequados de oferta de água para o abastecimento, visto que não atingiu o nível crítico ($NA=720,0m$) em nenhum momento do período monitorado.

O período entre 2014 e 2015 coincide com a crise hídrica que ocorreu na região Sudeste do Brasil, afetando o abastecimento de água de grandes aglomerados urbanos. A cidade de Juiz de Fora também foi afetada pela crise hídrica, já que os reservatórios da represa de João Penido, represa São Pedro e a captação no Ribeirão Espírito Santo não conseguiram atender a vazão necessária para abastecer a cidade Juiz de Fora. Foi justamente nesse período que a Cesama iniciou a captação de água na represa de Chapéu D’Uvas.

Observa-se que em abril de 2014 iniciou uma queda mais acentuada do volume de água, decaindo de um $NA=736,0m$ para um $NA=731,6m$ em junho do mesmo ano. Tal fato pode estar vinculado a um período de intensa insolação na região e baixa vazão afluyente dos tributários que fizeram oscilar o volume do reservatório ou uma manobra de manutenção da barragem.

Foi avaliado também o comportamento dos níveis de água da represa entre o período de 2003 até 2014, para obter mais dados do comportamento do reservatório desde o início do monitoramento realizado pela Cesama (Figura 32).

Observa-se que, em novembro/2003, o reservatório atingiu a sua pior marca, registrando um $NA=724,1m$, bem próximo do NA_{min} de operação de captação de água da Cesama ($NA_{min_operacional}=720,0m$); em volume acumulado, representou 21,40% do volume total do reservatório. Esse fato, está relacionado a manobras de operação da barragem para manutenção dos dispositivos hidráulicos. Assim como outros períodos de grande perda de volume de água também estavam associados a manobras de operação da barragem.

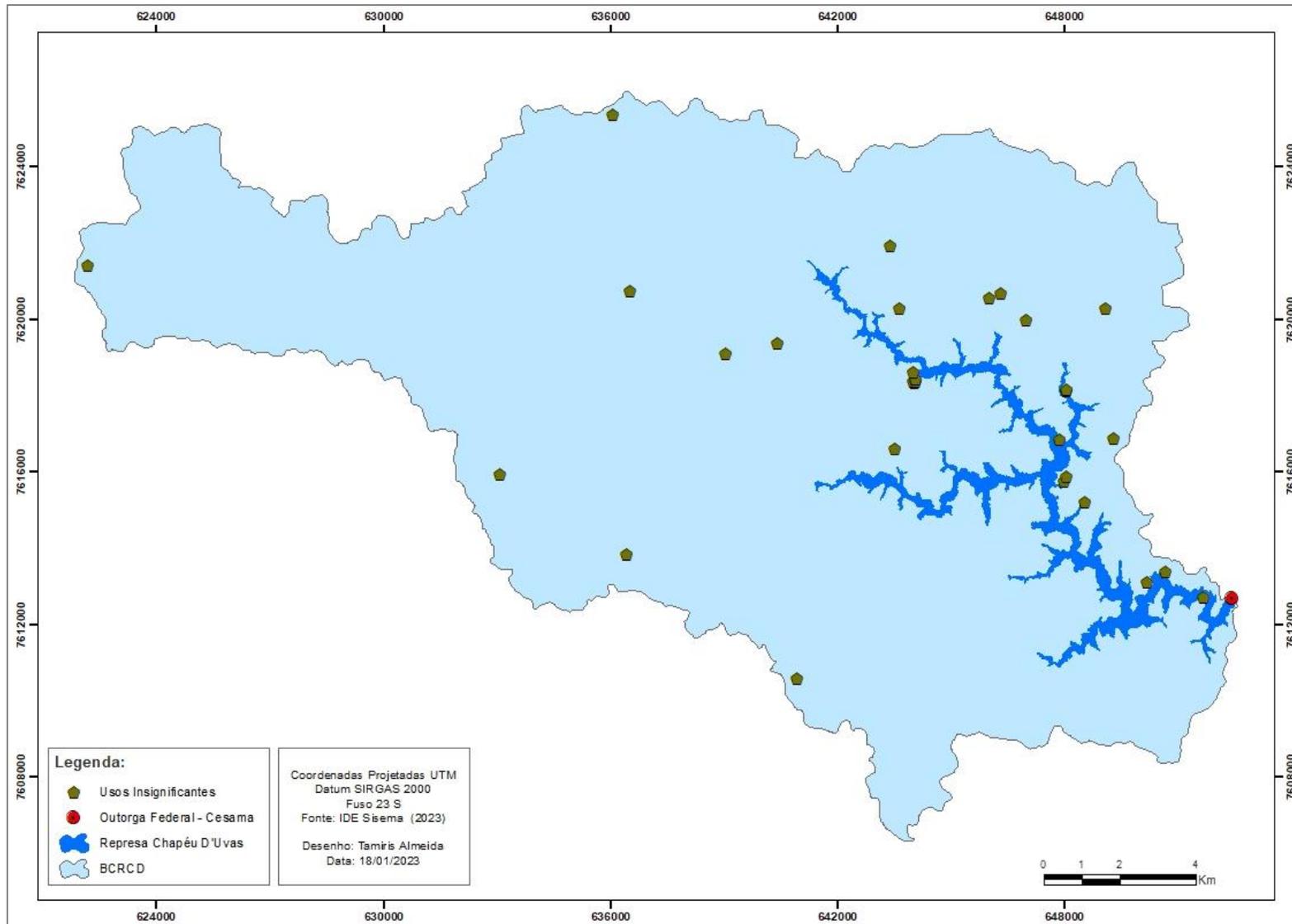


Figura 30: Localização dos usos insignificantes e da outorga da Cesama na BCRCD

Pouco mais de um ano depois, em janeiro/2004, o reservatório começou a recuperar o volume útil. Todavia, terminou ano de 2004 abaixo do NA_{med} . O reservatório obteve uma recuperação somente a partir de setembro/2010, mantendo o NA acima da cota $NA=730,0m$ nos anos subsequentes.

A Figura 33 mostra o percentual do volume acumulado desde o ano de 2003 até o ano de 2021, o volume acumulado médio representa 47,70% do total da represa. Durante o período analisado, nota-se que a partir do meio do ano de 2015, o volume percentual se manteve acima da média. Anteriormente, o volume acumulado oscilou até o início do ano de 2015, obtendo seu pior cenário em janeiro/2004. Percebe-se que entre 2003 e 2015 houve grandes variações no volume da represa de Chapéu D'Uvas. Nota-se, que a represa tem níveis mais altos no período de estiagem (abril a setembro) e níveis mais baixos no período chuvoso (outubro a março). Outro aspecto a considerar é a linha de tendência do volume percentual crescente, todavia desde o início do monitoramento o reservatório não atingiu 100% de sua capacidade, chegou no máximo a 93,98% de acumulação em abril/2020.

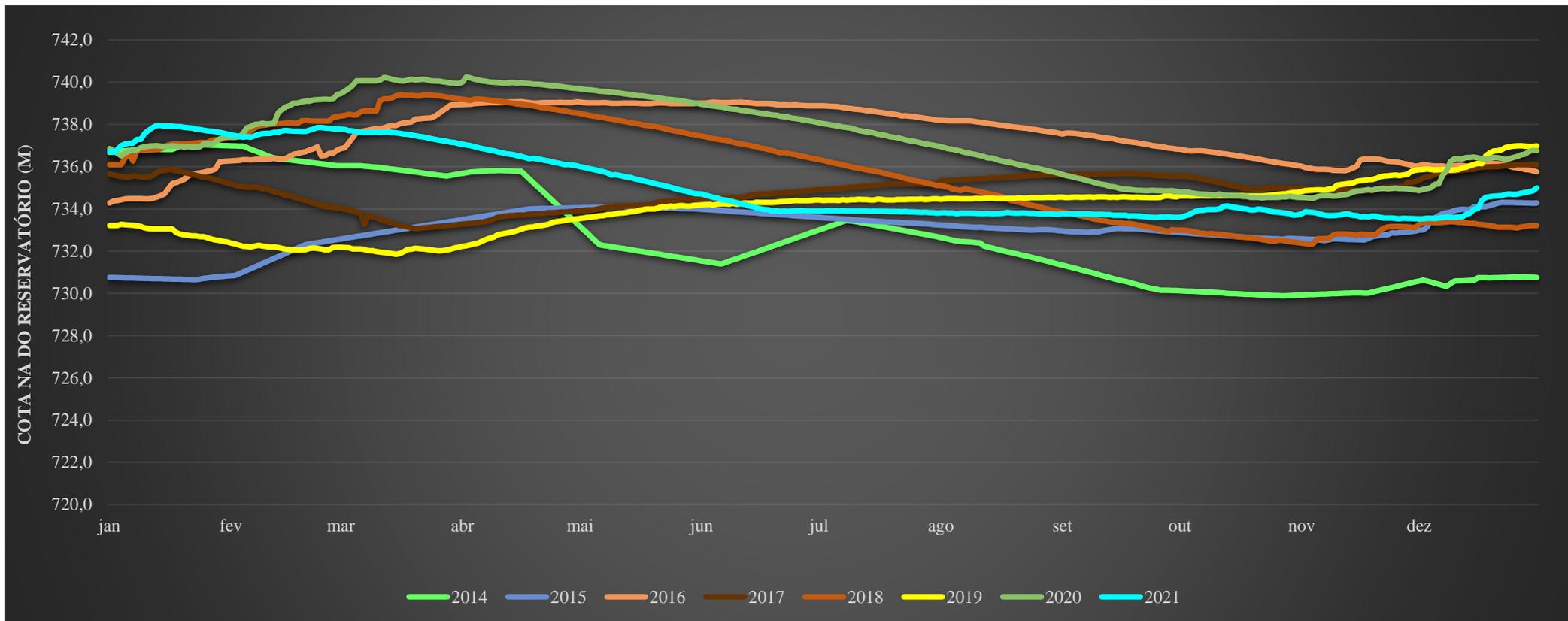


Figura 31: Série histórica das medições cotas NA da água do reservatório de Chapéu D'Uvas entre 2014 e 2021

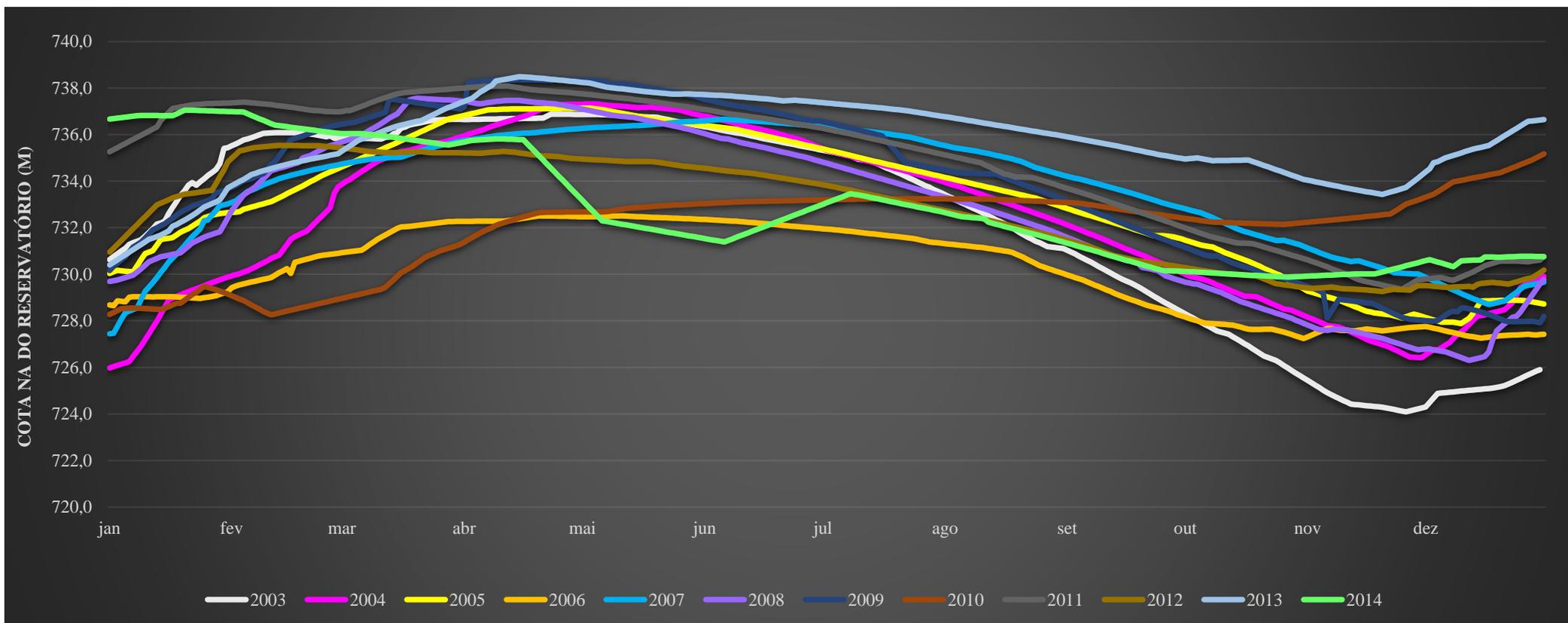


Figura 32: Série histórica das medições cotas NA da água do reservatório de Chapéu D'Uvas entre 2003 e 2014

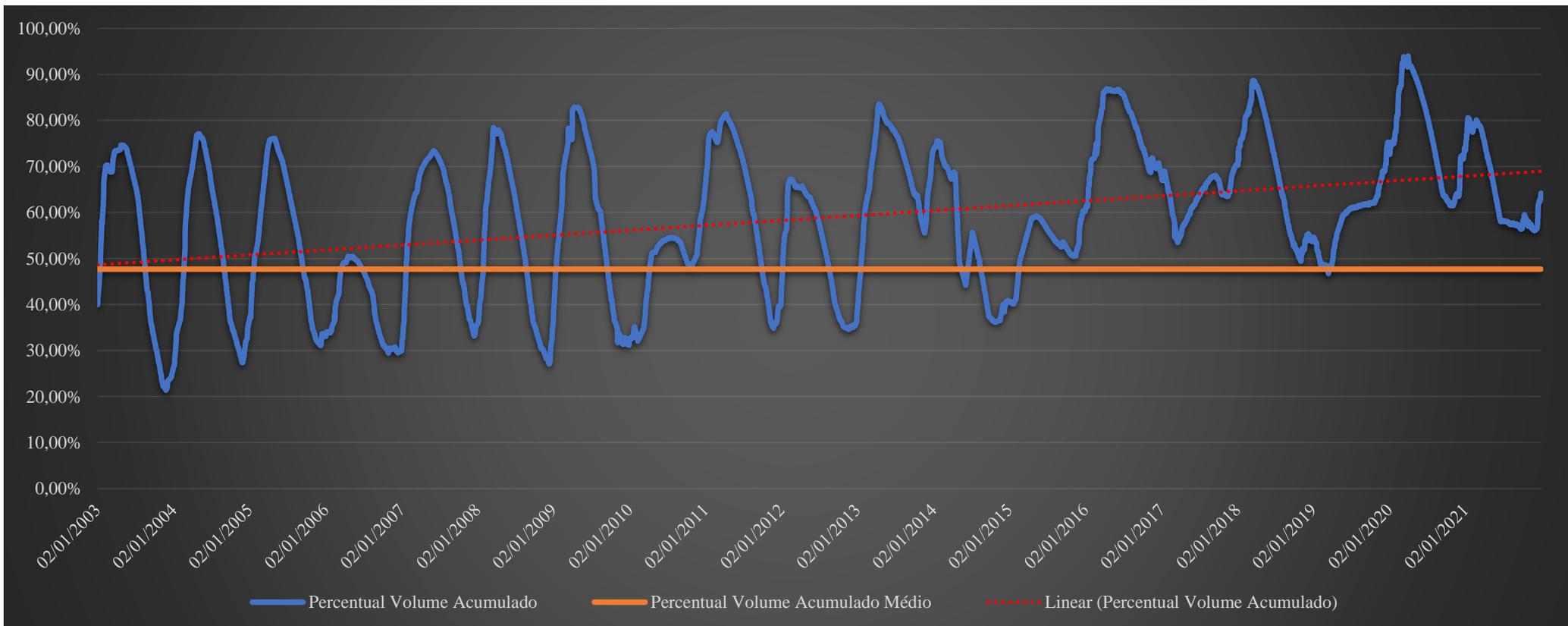


Figura 33: Percentual volume acumulado da represa de Chapéu D'Uvas no período de 2003 à 2021

5.1.2 Situação do Estressor Hídrico Demanda de Água

O estressor hídrico demanda de água foi medido a partir da oferta de água disponível na represa de Chapéu D'Uvas, avaliado pela cota do NA da represa (Tabela 42).

Tabela 42: Cenário do estressor hídrico demanda de água de 2014 a 2021 na represa de Chapéu D'Uvas

Característica Mensurável	Parâmetro	Ano	Valores mínimos encontrados de NA
Armazenamento de água para abastecimento humano	Cota mínima operacional (m)	2014	729,88
		2015	730,70
		2016	734,30
		2017	733,10
		2018	732,30
		2019	731,90
		2020	734,50
		2021	733,53

5.3 Estressor Poluentes Ordinários (Qualidade da Água)

5.3.1 Avaliação da Qualidade da Água da Represa Chapéu D'Uvas

A Cesama realiza o monitoramento mensal da qualidade da água em um ponto de monitoramento na região onde foi implantado o sistema de adução que capta água para a adutora de Chapéu D'Uvas, localizado próximo da barragem da represa (Figura 34).

Esse ponto de monitoramento foi utilizado para avaliar a qualidade da água que vai pela adutora para a ETA Walfredo de Machado Mendonça (ETA CDI) em Juiz de Fora.

Ressalta-se, uma limitação neste trabalho, de utilizar apenas um ponto de monitoramento para fazer a análise do estressor hídrico de poluentes ordinários, visto a dimensão em largura e comprimento de todo o reservatório; porém, não há outros pontos de monitoramento de qualidade da água. Esse ponto da Cesama representa especificamente a qualidade da água que chega na ETA, e não reflete as características da qualidade da água de toda a represa.

de pH dos meses de janeiro, fevereiro e outubro e, no ano de 2021, os meses de janeiro e fevereiro não tiveram dados referentes ao monitoramento do pH da água da represa.

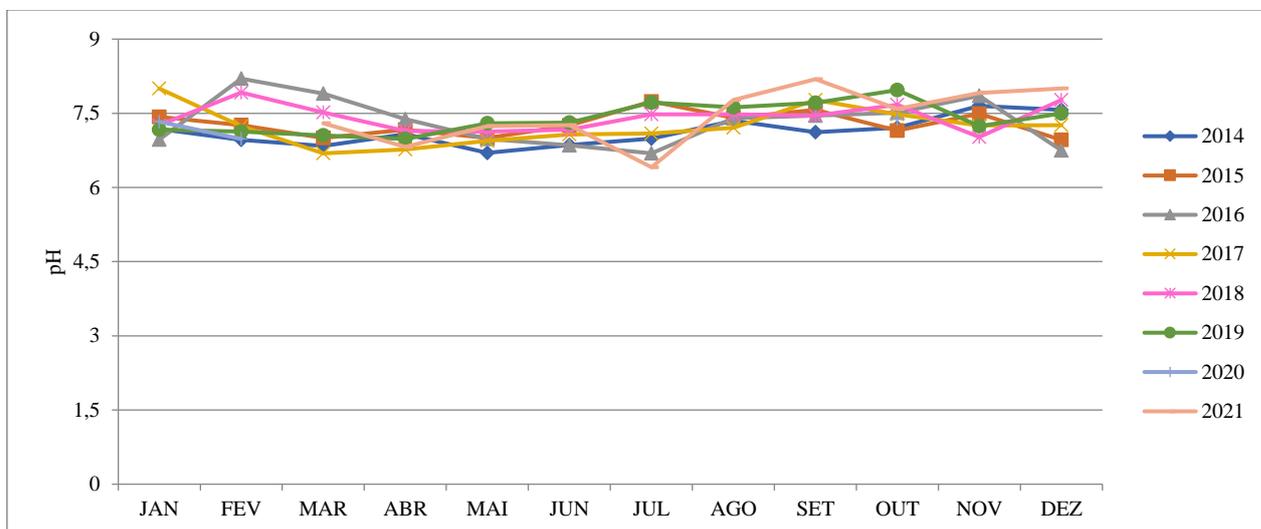


Figura 35: Monitoramento do pH no ponto de captação de água da represa de Chapéu D'Uvas

➤ Oxigênio Dissolvido (OD)

O oxigênio dissolvido está relacionado com as trocas gasosas entre a água e a atmosfera e a fotossíntese das plantas aquáticas (OLIVEIRA, 2018). Sua concentração indica se os organismos aeróbios estão realizando o metabolismo e a oxidação da matéria orgânica (OLIVEIRA, 2018).

Conforme a DN do COPAM nº08/2022, o padrão de qualidade do parâmetro OD em qualquer amostra não pode ser inferior a 6,0 mg/L para corpos hídricos de Classe 1. Durante os 8 anos de monitoramento estudados, em 69 amostras, o OD esteve abaixo de 6,0 mg/L em 31 amostras, o que representa 45% do total (Figura 36).

Oliveira (2018) destaca em sua tese de doutorado que os tributários da represa Chapéu D'Uvas consomem a maior parte do oxigênio, antes de chegar na represa, devido a aporte de cargas orgânicas provenientes de lançamento de esgotos e atividades agrosilvopastoris.

Os piores resultados de todo o período foram nos meses de janeiro e abril dos respectivos anos monitorados (2014 a 2021), sendo que este período (janeiro-abril) compreendem o período chuvoso na região e o mês de abril já sinaliza o fim das chuvas. Os anos de 2014 e 2015 não tiveram dados monitorados com regularidade mensal. Em 2014, os

dados de monitoramento só foram coletados nos meses de janeiro, fevereiro e março; já em 2015, só foi disponibilizado para essa pesquisa a análise de OD referente ao mês de maio.

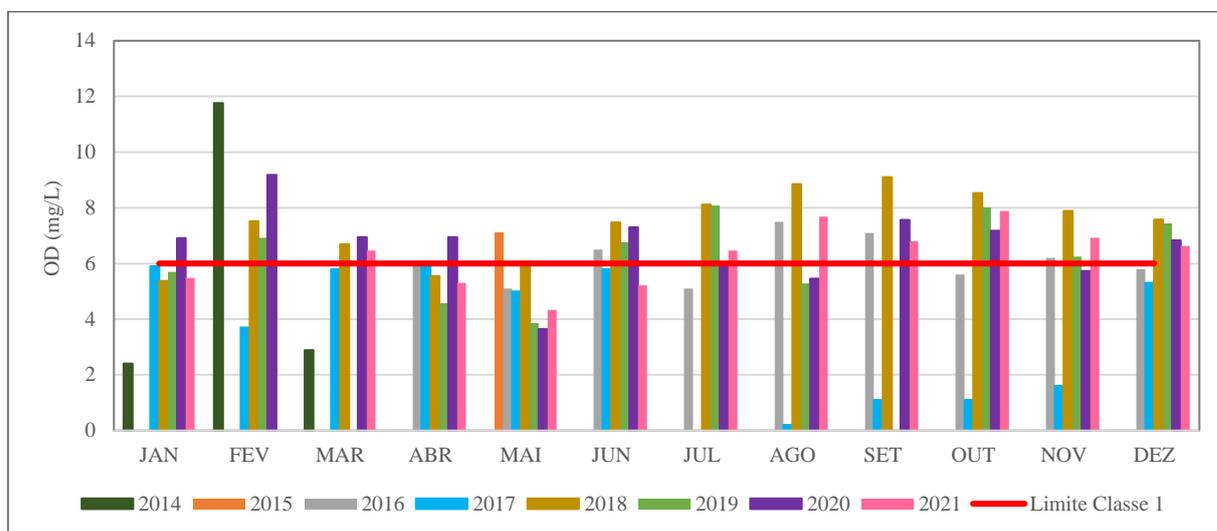


Figura 36: Monitoramento do OD no ponto de captação de água da represa de Chapéu D'Uvas

➤ Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

A DBO indica a quantidade de OD consumido pelos microorganismos para degradar e oxidar a matéria orgânica (VON SPERLING, 2005). Esse parâmetro é um importante indicador de ETA's e ETE's sobre a quantidade matéria orgânica existente em um corpo hídrico (VON SPERLING, 2005). Segundo Oliveira (2018), as fontes naturais de DBO podem ser potencializadas por despejos de efluentes e lixiviados agrícolas, aumentando os nutrientes e a carga poluidora de rios, córregos e reservatórios.

Todas as análises realizadas no período entre 2014 e 2021 (Figura 37) apresentaram resultados acima do limite do padrão, que corresponde a DBO=3,0 mg/L para enquadramento corpos hídricos de Classe 1, exceto o mês de julho de 2014 que esteve abaixo (DBO=1,6 mg/L). Os resultados apontaram para valores acima de 12 mg/L em 54 amostras (69%), ou seja, a DBO esteve 4 vezes acima do limite na maior parte das amostragens no período monitorado. Em vários casos, os valores estiveram ainda maiores, como em junho de 2018, chegando a atingir DBO=33,10 mg/L, em outubro de 2020 (DBO=55,49 mg/L) e o pior resultado do parâmetro em novembro de 2015 (DBO=90 mg/L).

Estes resultados corroboram com os do parâmetro OD, que indicam a dificuldade dos microorganismos de degradar a matéria orgânica pela falta de OD no período chuvoso. Os

piores cenários de DBO foram nos meses chuvosos (novembro-abril) e nos meses mais secos na região (julho-setembro) o parâmetro da DBO se manteve acima do permitido pela legislação, porém uma escala de concentração menor se comparado com o período chuvoso.

Outro aspecto a se considerar sobre os altos valores de DBO está relacionado ao enchimento do reservatório de Chapéu D’Uvas, no início da década de 1990, que foi realizado sem a limpeza e retirada da vegetação da área do espelho d’água. Dessa forma, os valores de DBO acima do limite permitido (3mg/L) para corpos d’água de Classe 1 demonstram uma acentuada presença de matéria orgânica dentro do reservatório, consequência do enchimento da represa sem critérios de remoção de vegetação. Além disso, Oliveira (2018) também observou a entrada de carga poluidora pelos tributários da represa provenientes de lançamentos de efluentes.

Ressalta-se que foram disponibilizados resultados de amostras de 5 meses de 2015 (janeiro, fevereiro, junho, outubro e novembro) e 3 meses de 2020 (janeiro, fevereiro e outubro). Em 2018, tiveram 3 meses sem dados de monitoramento e, em 2021, foram 5 meses. Dessa forma, a avaliação do comportamento da DBO mês a mês e por ciclo hidrológico sazonal chuvoso e seco precisa ser melhor investigada.

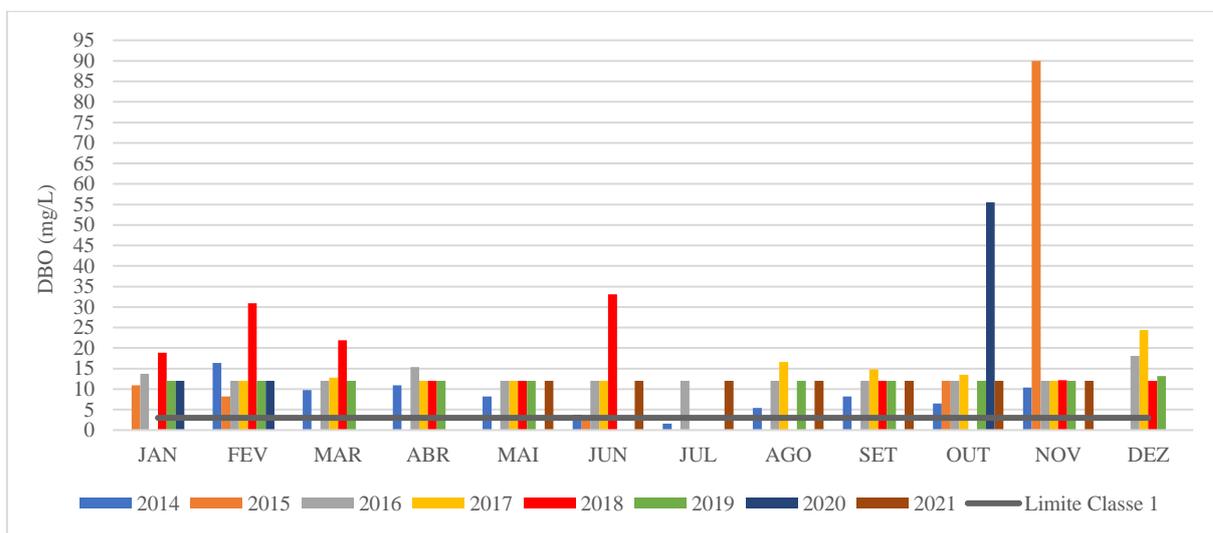


Figura 37: Monitoramento da DBO no ponto de captação de água da represa de Chapéu D’Uvas

➤ Fósforo Total (P)

O fósforo é essencial na produção agrícola como fertilizante de solos para produção de alimentos. Na água, o fósforo é um nutriente para plantas e algas e, quando a quantidade de

fósforo excede o limite máximo em corpos hídricos, provoca o processo de eutrofização, que corresponde a grande quantidade de nutrientes na água, o que contribui para o aumento das cianobactérias (VON SPERLING, 2005)

Este parâmetro esteve acima do limite permitido de $P=0,02$ mg/L para o enquadramento de corpos hídricos Classe 1 em 32 amostras (43%) de um total de 74 amostras (Figura 38). Ao analisar os períodos do monitoramento, os piores indicadores do P concentraram-se nos meses chuvosos de dezembro, janeiro e março, sendo em dezembro de 2021 um dos piores resultados desse parâmetro ($P=0,8$ mg/L). Todavia, em maio/2014, o P atingiu seu maior valor no período de monitoramento ($P=0,85$ mg/L). Percebe-se que o reservatório de Chapéu D'Uvas convive com uma produção de nutrientes provenientes da vegetação submersa da represa e, provavelmente, há aportes de nutrientes carreados do solo no período chuvoso.

Outro aspecto levantado por Oliveira (2018), está relacionado as cianobactérias, em seu estudo identificou leituras significativas deste parâmetro nos pontos monitorados dentro do reservatório. A supressão das matas de APP's, a ocupação por loteamentos e condomínios promovem condições favoráveis a proliferação de nutrientes e o aumento das cianobactérias na represa.

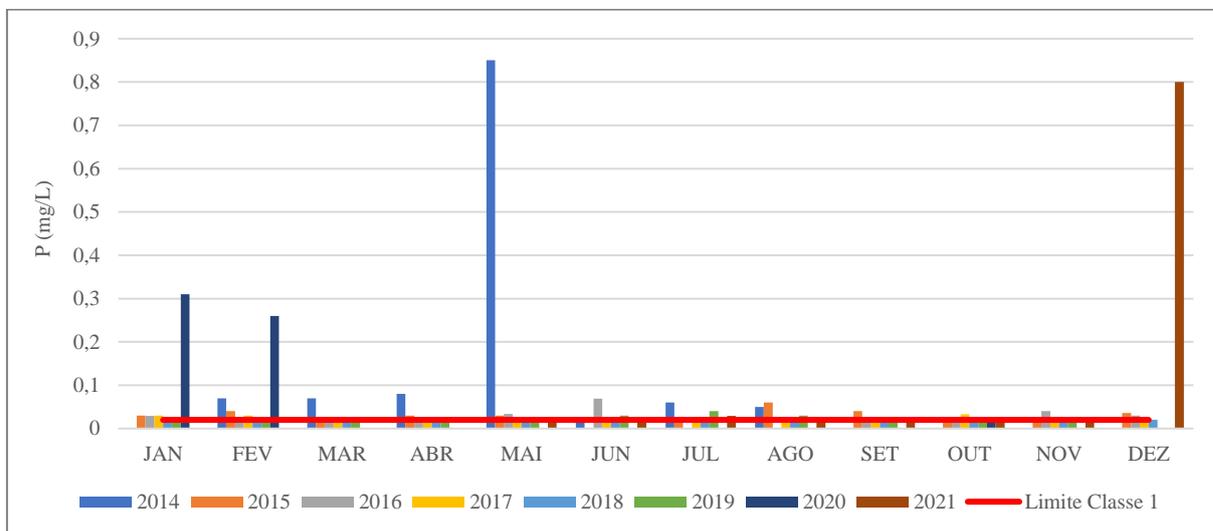


Figura 38: Monitoramento do Fósforo Total no ponto de captação de água da represa de Chapéu D'Uvas

➤ Turbidez

A turbidez indica a dificuldade de um feixe de luz atravessar a água, é composta por partículas de matérias sólidas, tais como: silte, argila, coloides e matéria orgânica (OLIVEIRA, 2018). O parâmetro da turbidez manteve-se dentro dos limites aceitáveis de $T=40$ UNT para

enquadramento de corpos hídricos Classe 1 em todo o período monitorado, estando, inclusive, bem abaixo dele (Figura 39).

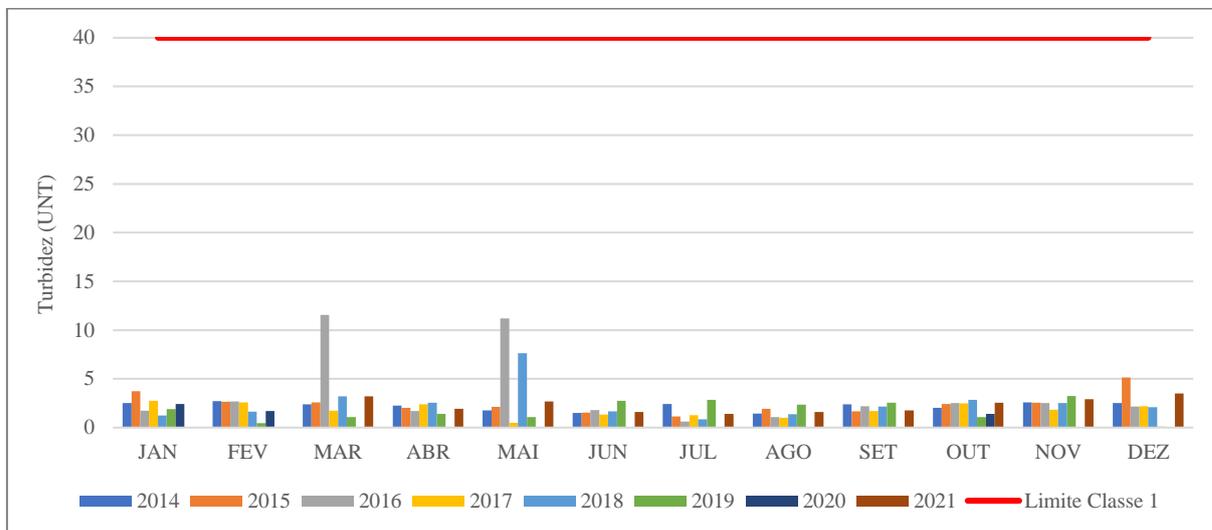


Figura 39: Monitoramento da turbidez no ponto de captação de água da represa de Chapéu D'Uvas

➤ *Escherichia Coli (E. Coli)*

O parâmetro de *E. coli* indica a presença de microorganismos biológicos causadores de doenças de veiculação hídrica (VON SPERLING, 2005). Pela Figura 40, observa-se que este parâmetro se manteve dentro dos limites aceitáveis, menores que 200 NMP/100 ml para enquadramento de corpos hídricos Classe 1 em todo o período analisado.

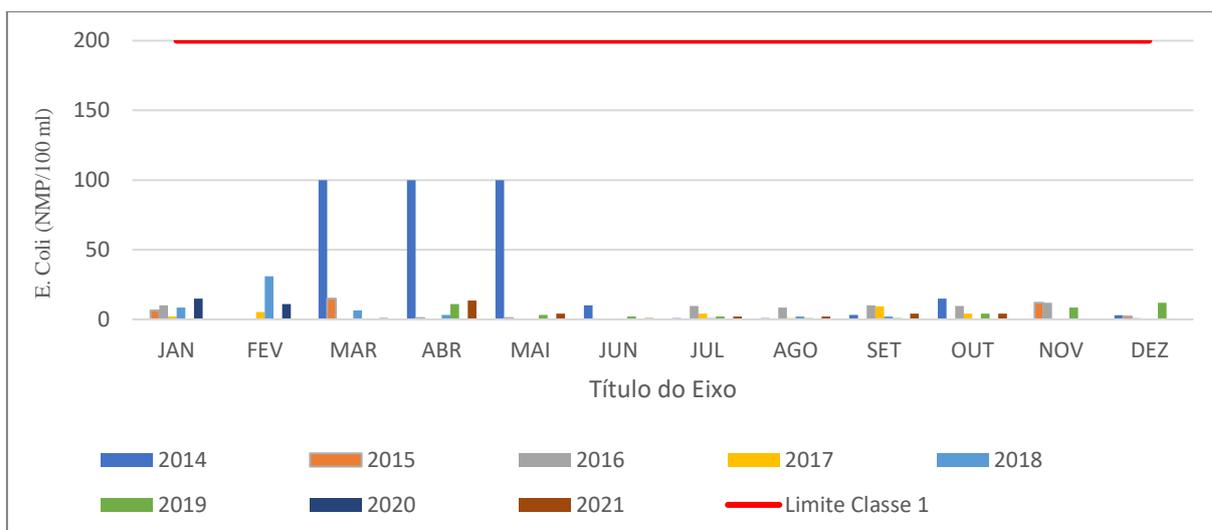


Figura 40: Monitoramento de *E. coli* no ponto de captação de água da represa de Chapéu D'Uvas

5.3.2 Resultados do ICE

A Tabela 43 apresenta os resultados do cálculo do ICE para o conjunto de dados amostrados pela Cesama no período da pesquisa de 2014 a 2021.

Tabela 43: Resultado do ICE no ponto de monitoramento de água da represa de Chapéu D'Uvas

Ano	F1 - Abrangência	F2 - Frequência	F3 - Amplitude	ICE
2014	50,00	32,08	57,47	37
2015	33,33	27,66	45,82	52
2016	50,00	37,10	36,99	45
2017	50,00	38,10	57,30	35
2018	33,33	17,19	38,91	59
2019	50,00	29,69	32,53	49
2020	50,00	30,77	56,15	38
2021	50,00	24,07	53,09	42

A Figura 41 ilustra as faixas dos valores do ICE, que pode se enquadrar em péssimo, ruim, regular, bom e excelente de acordo com ANA (2012b) e CCME (2017). O ICE no ponto de monitoramento de qualidade da água para captação para abastecimento humano da cidade de Juiz de Fora manteve-se entre péssimo ou ruim para enquadramento de rios Classe 1. O pior valor do ICE encontrado no período de monitoramento (2014-2021) foi do ano de 2017 e o melhor resultado foi, no ano seguinte, em 2018.

Esses resultados ruins e péssimos indicam a necessidade de ações efetivas sobre o controle da poluição hídrica e o desenvolvimento de programas e projetos para melhorar a qualidade da água, a fim de atingir a meta estabelecida para o enquadramento do curso d'água nesse trecho.

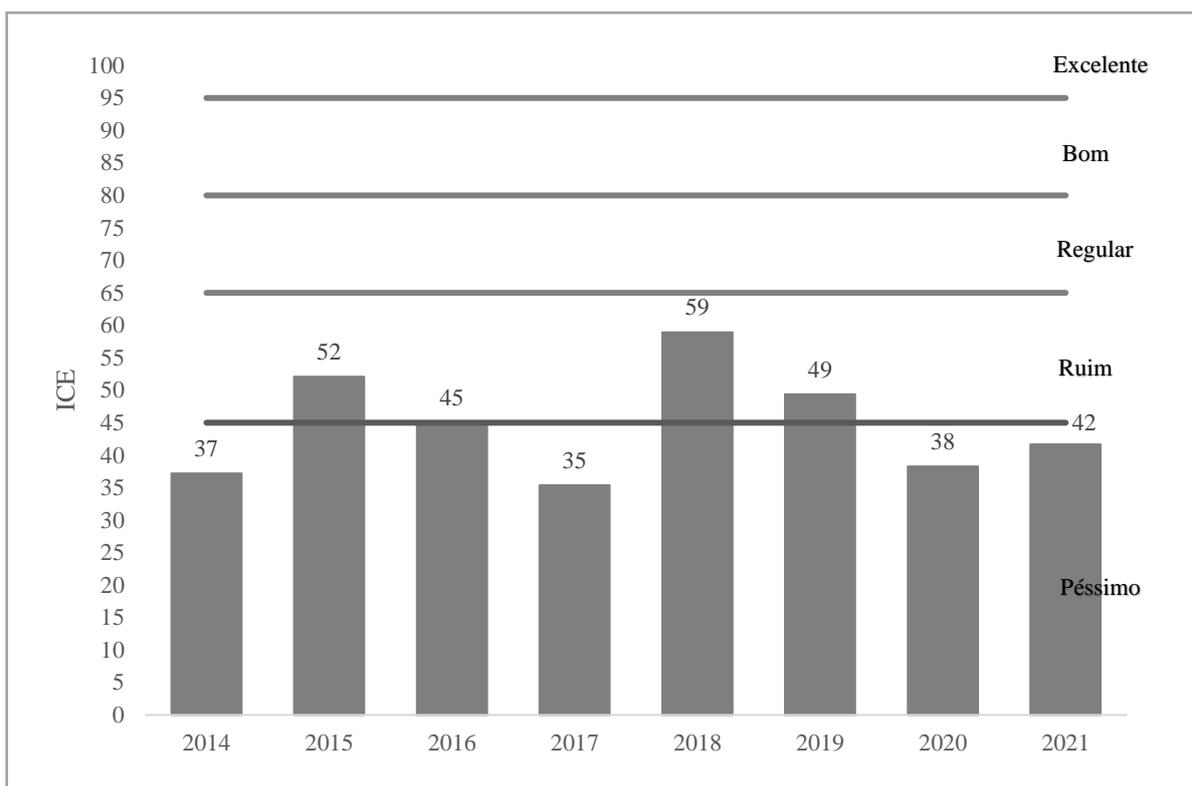


Figura 41: ICE para os dados referentes ao ponto de monitoramento de qualidade da água da represa de Chapéu D'Uvas entre os anos de 2014 e 2021

5.3.3 Situação do Estressor Hídrico Poluentes Ordinários em 2014 e 2021

A Tabela 44 apresenta um panorama da situação do estressor hídrico poluentes ordinários quanto ao ICE para os 6 parâmetros de qualidade da água da represa de Chapéu D'Uvas. Nota-se que a qualidade da água obteve uma leve melhora no ano de 2021 em comparação ao ano de 2014.

Tabela 44: Cenário do estressor hídrico poluentes ordinários em 2014 e 2021 na represa Chapéu D'Uvas

Característica Mensurável	Parâmetro	Ano	Valores encontrados ICE
Condição qualitativa do corpo de água, com relação ao enquadramento	ICE: pH, OD, DBO, P, Turbidez e Coli-TT	2014	37
		2015	52
		2016	45
		2017	35
		2018	59
		2019	49
		2020	38
		2021	42

5.4 Estressor Eventos Hidrológicos Extremos

Os eventos hidrológicos extremos afetam a segurança hídrica por conta de períodos mais intensos de estiagens e/ou de inundações. Nessa dissertação, foi abordado o impacto dos eventos hidrológicos extremos de seca sobre o reservatório de Chapéu D'Uvas, que pode comprometer o abastecimento de água. O impacto das cheias sobre o reservatório foi avaliado quanto à integridade física do sistema de captação de água.

5.4.1 Comportamento da Precipitação

A Figura 42 apresenta a Normal Climatológica da Estação ECP/JF nº 83.692 localizada em Juiz de Fora/MG. As médias climatológicas são referentes a uma série de dados observados por 30 anos, durante o período de 1991-2020. Nota-se que o período de maior precipitação na região são os meses de dezembro (P=310 mm) e janeiro (P=297 mm). O período chuvoso inicia em outubro e termina no mês de março. O mês de fevereiro costuma ser o mais quente com uma temperatura máxima de 28°C. Os meses de abril a setembro correspondem ao período seco, sendo julho o mais seco com uma pluviometria média de P=14mm, seguido de junho (P=17 mm) e agosto (P=19 mm). A menor temperatura costuma ser registrada em julho, atingindo em torno de 12,8°C.

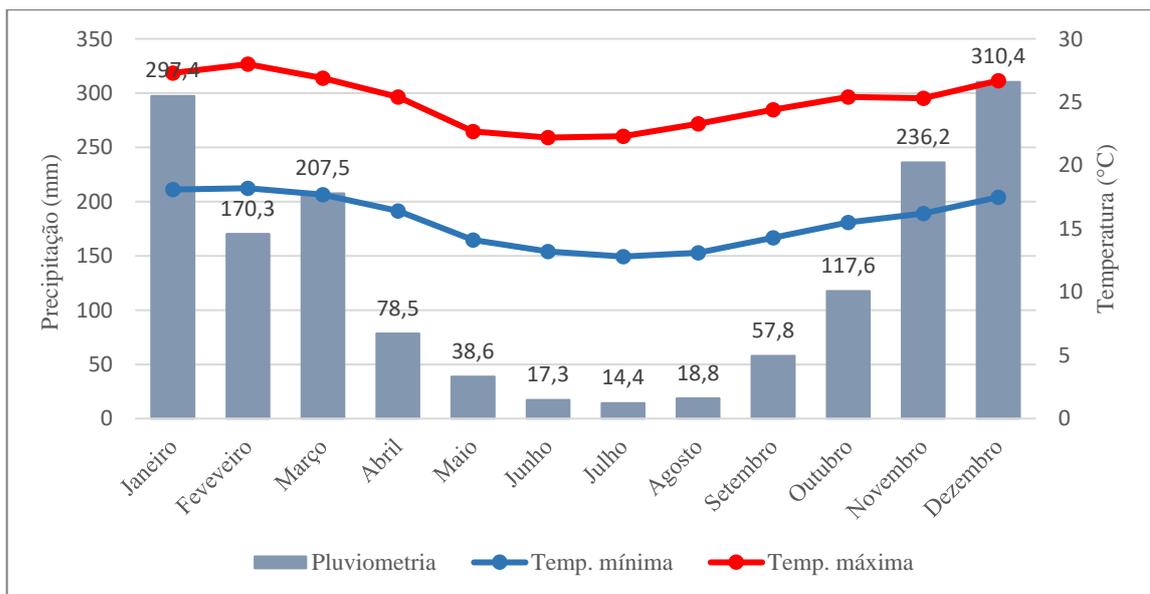


Figura 42: Normais Climatológicas da Estação ECP nº 83.692

A Figura 43 demonstra a precipitação acumulada desde o ano de 2003 da Estação Pluviométrica da ANA nº 2143020, localizada a jusante da represa de Chapéu D’Uvas. Percebe-se, pela linha de tendência que as precipitações acumuladas foram diminuindo ao longo dos anos hidrológicos e depois voltaram a subir. No ano de 2004, a precipitação atingiu seu maior pico na série histórica, com um acumulado anual de $P_{acum}=1.922$ mm, acima da Normal Climatológica ($P_{nc}=1565$ mm). Nos anos posteriores, a tendência foi de diminuição da precipitação, sendo que os anos de 2014 ($P_{acum}=866$ mm) e 2017 ($P_{acum}=753$ mm) tiveram anormalidades, com os piores cenários de precipitação, abaixo da Normal Climatológica. Enfatiza-se ainda que os anos de 2015 ($P_{acum}=1.294$ mm), 2016 ($P_{acum}=1.009$ mm) e 2019 ($P_{acum}=1.425$ mm) também ficaram abaixo da Normal Climatológica, e o ano de 2018 ($P_{acum}=1.576$ mm) no limite da Normal Climatológica. Já nos anos de 2020 ($P_{acum}=1.849$ mm) e 2021 ($P_{acum}=1.752$ mm) houve uma recuperação da precipitação acumulada com valores acima da Normal Climatológica. No entanto, há tendências de aumento de eventos hidrológicos extremos de seca e inundações no Brasil, tal como apresentado pelo relatório do IPCC (2022).

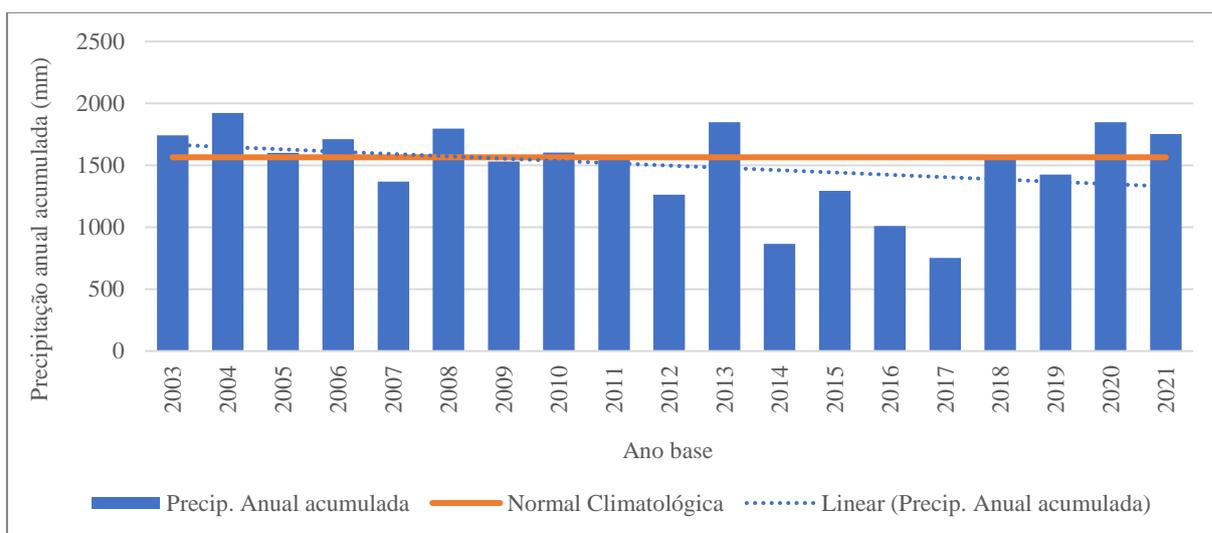


Figura 43: Precipitação anual acumulada no período de 2003 a 2021 da Estação Pluviométrica da ANA nº 2143020.

A tendência durante o período chuvoso de outubro a março também mostra uma redução de chuva na série histórica (Figura 44). Ao analisar a partir de 2011/2012, a tendência se acentua e posteriormente aumenta a quantidade de chuva nos dois últimos anos investigados.

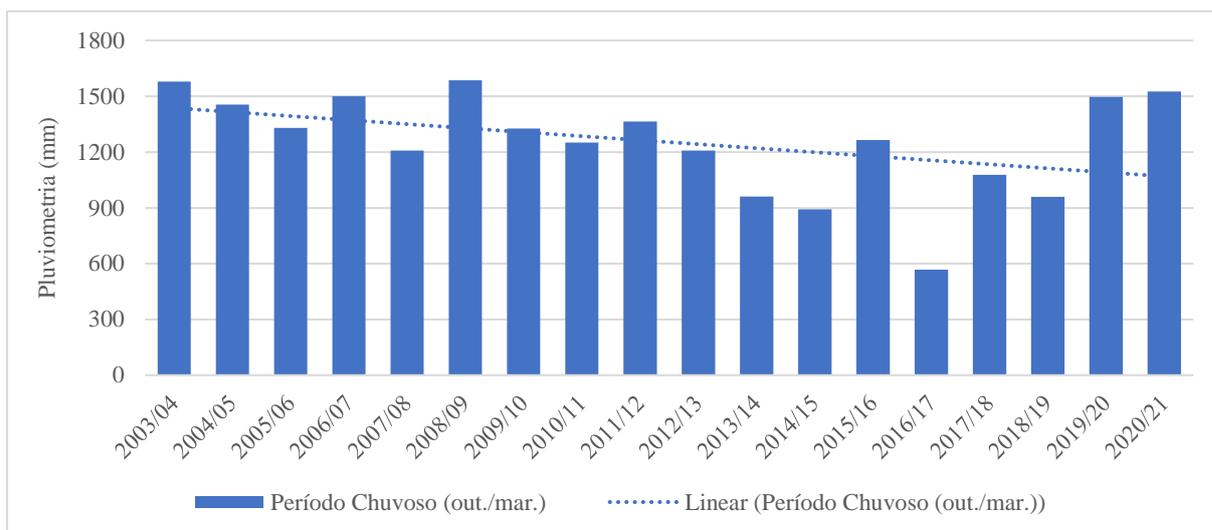


Figura 44: Precipitação acumulada no período chuvoso de outubro a março da Estação Pluviométrica da ANA nº 2143020.

A Figura 45 apresenta o gráfico do regime pluviométrico por ano hidrológico, considerado o ano hidrológico de setembro do ano anterior até agosto do presente ano. Observa-se que o regime de chuvas oscilou na série histórica com a tendência de diminuição, com o pior período a partir do ano hidrológico 2013/2014 ($P_{acum}=1.226\text{mm}$). Em 2015/2016 ($P_{acum}=1453\text{mm}$) houve uma melhora na quantidade de chuvas e em 2016/2017 ($P_{acum}=715\text{mm}$) foi o pior ano hidrológico da série histórica, com o menor regime de chuvas registrado pela série histórica. Em seguida no ano hidrológico de 2017/2018 a precipitação voltou a subir ($P_{acum}=1318\text{mm}$) e em 2020/21 ($P_{acum}=1762\text{mm}$) atingiu o mesmo patamar de 2008/09 ($P_{acum}=1809\text{mm}$). Contudo, nenhum ano hidrológico atingiu o máximo de volume de chuvas do período registro de 2003/2004 ($P_{acum}=1945\text{mm}$) da série histórica.

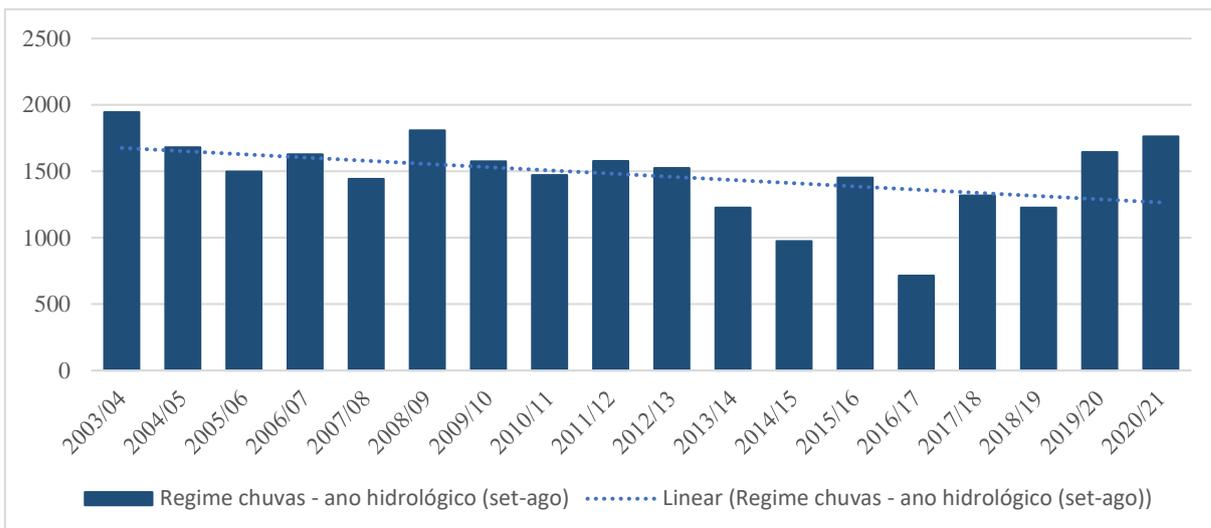


Figura 45: Regime de chuvas durante o ano hidrológico (setembro-agosto) da série histórica da Estação Pluviométrica da ANA n° 2143020.

Com relação a integridade da barragem sobre eventos hidrológicos extremos de chuvas, em abril/2020 a barragem correu um risco de verter água, devido ao nível d'água que atingiu o NA=740,250m, perto da cota máxima (NA=741,0m); foi o registro mais alto da série histórica das cotas do NA da represa dentro do período de 2003-2021 (Figura 46). Nesse sentido, a captação de água para abastecimento de Juiz de Fora, ajudou a evitar que a água vertesse pela barragem.

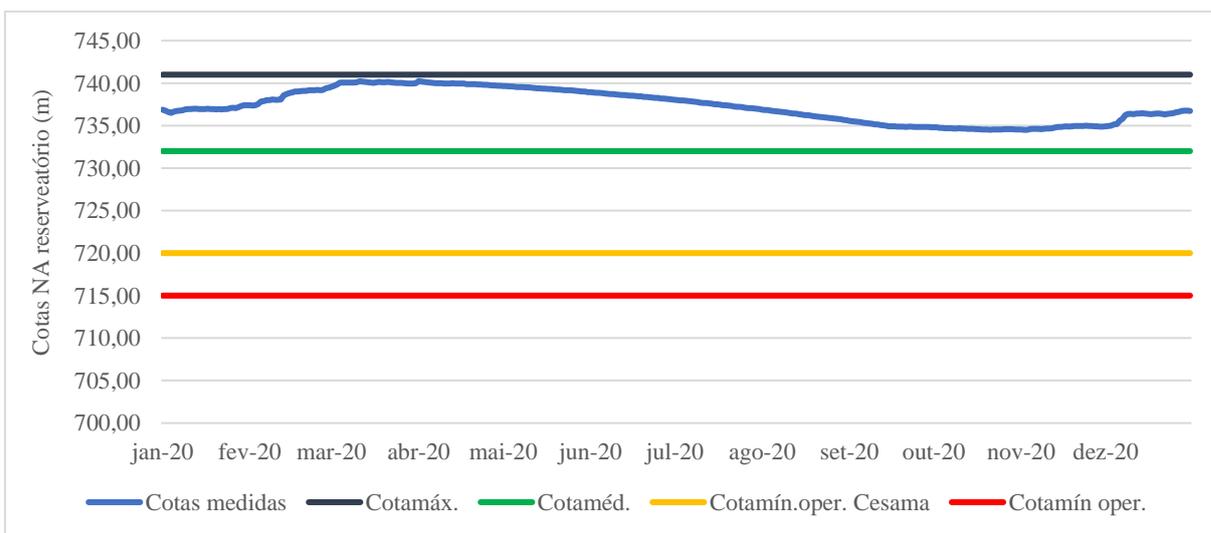


Figura 46: Cotas do NA da represa Chapéu D'Uvas em 2020.

5.4.2 Situação do Estressor Hídrico Eventos Hidrológicos Extremos em 2014 a 2021

Percebe-se, pela Tabela 45, que em 2014 a precipitação acumulada esteve bem abaixo da Normal Climatológica ($P_{nc}=1565\text{mm}$), e nesse mesmo período atingiu o menor nível da Cota NA da represa ($NA=729,88\text{m}$). Mesmo assim, apesar do ano de 2014 ter sido um ano muito seco, o NA se manteve apenas 2,12 metros abaixo da Cota Média ($NA=732\text{m}$), não impactando a disponibilidade de volume de água. Porém, o ano anterior de 2013, a precipitação total ($P=1.849\text{mm}$) foi bem acima da Normal Climatológica e, provavelmente, ajudou a manter o NA do reservatório durante a estiagem do ano de 2014. Já os anos seguintes de 2015 e 2016, houve uma recuperação nas chuvas. Mas, o pior cenário de chuvas foi no ano de 2017 ($P=753\text{mm}$). Mesmo assim, o reservatório apresentou uma boa capacidade de armazenamento de água, se mantendo o ano todo em níveis acima da Cota Média, provavelmente influenciado pelo período de 2016, em que a represa atingiu uma Cota $NA=739,1\text{m}$, que ajudou a manter níveis consideráveis em 2017. Os anos subsequentes tiveram índices pluviométricos próximos ou acima da Normal Climatológica e o armazenamento se manteve próximo ou acima da cota média.

Tabela 45: Cenário do estressor eventos hidrológicos extremos em 2014 e 2021 na represa de Chapéu D'Uvas

Parâmetro	Ano	Característica Mensurável	
		Precipitação Acumulada (mm)	Redução do armazenamento de água (m)
Altura de chuva (mm); Cota NA (m)	2014	867	729,8
	2015	1294	730,7
	2016	1009	734,3
	2017	753	733,1
	2018	1576	732,3
	2019	1425	731,9
	2020	1849	734,5
	2021	1752	733,5

5.5 Mensuração do Risco à Segurança Hídrica por meio do Método FMEA

5.5.1 Resultado da avaliação da severidade, ocorrência e detectabilidade

A Tabela 46 evidencia o grau de severidade encontrado para cada um dos estressores hídricos com relação aos anos investigados, sendo eles: 2014 e 2021.

Diante dos resultados encontrados referentes à severidade do impacto sobre a segurança hídrica, o ano de 2014 obteve os piores resultados para todos os estressores, que variam em grau 2 para demanda, eventos hidrológicos extremos e uso e ocupação do solo e grau 3 para o estressor poluentes ordinários. No ano de 2021, os estressores demanda e eventos hidrológicos extremos atingiram o menor grau de severidade.

No entanto, comparando os resultados brutos com os valores de grau de severidade, o cenário dos estressores uso e ocupação do solo e poluentes ordinários se mantiveram no mesmo enquadramento de grau de severidade níveis 2 e 3, respectivamente, em 2021.

Isso corrobora para uma maior atenção da gestão pública da BCRCO com relação a esses estressores, visto que eles são proporcionais, isto é, se ocorre alterações no solo, ocorre também aumento de poluentes na água.

Tabela 46: Resumo dos resultados do grau de severidade do impacto de cada estressor hídrico

Estressor	Características mensuráveis	Parâmetro/Indicador	Resultado do Indicador de Severidade (2014)	Resultado do Indicador de Severidade (2021)	Grau de Severidade (2014)	Grau de Severidade (2021)
Uso e ocupação do solo	Classes de uso e ocupação do solo	Curve Number	63	64	2	2
Demanda	Armazenamento de água para abastecimento humano	Cota mínima operacional (m)	729,88	733,53	2	1
Poluentes ordinários	Condição qualitativa do corpo de água, com relação ao enquadramento	ICE: pH, OD, DBO, P, Turbidez e Coli-TT	37	42	3	3
Eventos hidrológicos extremos	Redução do armazenamento de água por eventos extremos	Cota mínima (m); Precipitação (mm)	Cota NA = 729,88; P _{acum} = 867 mm	Cota NA = 733,53; P _{acum} = 1.752mm	2	1

A Tabela 47 apresenta o resultado da ocorrência de cada estressor. O estressor uso e ocupação do solo tem uma baixa intensidade, porém, ocorre com grande frequência na BCRC, assim como os poluentes ordinários que também tem uma frequência alta sobre a alteração da qualidade da água da represa e pelas análises laboratoriais da Cesama, a ocorrência de alteração é grande. Já a demanda de água não teve significativas ocorrências em nenhum dos anos analisados, a represa manteve o volume de captação necessário para abastecer Juiz de Fora. Com relação aos eventos hidrológicos extremos, o grau de ocorrência maior foi no ano de 2014 devido a um período prolongado de seca extrema, e o ano de 2021 manteve índices pluviométricos e de temperaturas normais. O estressor eventos hidrológicos extremos pode exercer um impacto severo em curto período de tempo, mas não foi no caso da represa de Chapéu D’Uvas.

Tabela 47: Determinação da ocorrência de cada estressor hídrico

Estressor Hídrico	Grau de Ocorrência em 2014	Grau de Ocorrência em 2021
Uso e ocupação do solo	3	3
Demanda de água	1	1
Poluentes ordinários	3	3
Eventos hidrológicos extremos	2	1

A Tabela 48 mostra o resultado da detectabilidade de cada estressor. Foi atribuído valor 2 (moderado) para o estressor hídrico poluentes ordinários devido à necessidade de mais dados monitoramento de água em mais pontos de coleta distribuídos ao longo do espelho d’água e tributários da represa de Chapéu D’Uvas.

Para o estressor uso e ocupação do solo e eventos hidrológicos extremos a detectabilidade foi considerada 3 (alta) devido à complexidade de realizar mapeamento de uso e ocupação do solo e a falta de dados mais consistentes sobre o balanço hídrico do reservatório, dados diários de descargas do vertedor da barragem, assim como acompanhamento das manobras de operação da barragem. Já para a demanda o grau de detectabilidade é 1 (baixa), visto que há a disponibilidade dos dados de demanda da cidade de Juiz de Fora por meio das projeções do Plano de Saneamento Básico e as cotas do NA são monitoradas diariamente pela Cesama na barragem de Chapéu D’Uvas.

Tabela 48: Determinação da detectabilidade de cada estressor

Estressor Hídrico	Grau de Detectabilidade em 2014	Grau de Detectabilidade em 2021
Uso e ocupação do solo	3	3
Demanda de água	1	1
Poluentes ordinários	2	2
Eventos hidrológicos extremos	2	2

5.5.2 Resultado do Risco à Segurança Hídrica em 2014 e 2021

Realizadas as atribuições das graduações dos estressores hídricos referentes à severidade, ocorrência e detectabilidade de cada estressor, foi feito o cálculo da medida do risco à segurança hídrica por meio do Método FMEA, conforme descrito metodologicamente no capítulo 4.

A medida do risco foi avaliada sobre a quantidade e a qualidade da água, separadamente, destaca-se que os poluentes ordinários não exercem impactos sobre a quantidade de água. As Tabelas 49 e 50 apresentam os resultados do cálculo da medida do risco à segurança hídrica sobre a quantidade e qualidade de água referente aos anos de 2014 e 2021, respectivamente.

Os resultados apontam que, para o cenário de 2014, o estressor que mais riscos trouxe a segurança hídrica sobre a quantidade de água foi o uso e ocupação do solo, obtendo um risco intolerável. Os estressores demanda de água e eventos hidrológicos extremos estiveram na faixa de risco tolerável. Já para a qualidade da água no mesmo período os estressores uso e ocupação do solo e poluentes ordinários atingiram a faixa de risco intolerável e eventos hidrológicos extremo, risco tolerável, a demanda não apresentou risco, mantendo na faixa de risco aceitável.

No ano de 2021, o pior cenário de risco para a quantidade de água foi para o estressor uso e ocupação do solo, e com relação a qualidade de água, inclui-se o estressor poluentes ordinários. Os demais estressores estiveram dentro da faixa aceitável de risco a segurança hídrica tanto para quantidade quanto para qualidade.

Tabela 49: Medida do risco à segurança hídrica em 2014

Quantidade de Água				
Estressor Hídrico	S	O	D	Rshw
Uso e ocupação do solo	2	3	3	8,8
Demanda de água	2	1	1	4,4
Poluentes Ordinários				
Eventos hidrológicos extremos	2	2	2	6,2
Qualidade da Água				
Estressor Hídrico	S	O	D	Rshw
Uso e ocupação do solo	2	3	3	8,8
Demanda de água	1	1	1	2,1
Poluentes Ordinários	3	2	2	14
Eventos hidrológicos extremos	2	2	2	6,2

Tabela 50: Medida do risco a segurança hídrica em 2021

Quantidade de Água				
Estressor Hídrico	S	O	D	Rshw
Uso e ocupação do solo	2	3	3	8,8
Demanda de água	1	1	1	2,1
Poluentes Ordinários				
Eventos hidrológicos extremos	1	1	2	2,2
Qualidade da Água				
Estressor Hídrico	S	O	D	Rshw
Uso e ocupação do solo (ano de 2015)	2	3	3	8,8
Demanda de água	1	1	1	2,1
Poluentes Ordinários	3	2	2	14
Eventos hidrológicos extremos	1	1	2	2,2

Ao fazer uma análise comparativa entre os anos de 2014 e 2021, os estressores que mais atribuem risco à segurança hídrica são uso e ocupação do solo e poluentes ordinários. Ambos mantiveram um risco intolerável na comparação tanto para quantidade quanto para qualidade de água. A demanda de água e eventos hidrológicos extremos apresentaram resultados toleráveis sobre a quantidade de água em 2014 e aceitáveis em 2021, esse resultado evidencia a influência do período de seca prologado acometido sobre a região Sudeste na época de 2014.

Com relação a qualidade de água, em 2014 o estressor eventos hidrológicos extremos também atingiu um risco tolerável e a demanda de água aceitável. Já na comparação com o ano de 2021 tanto para quantidade quanto para qualidade de água o risco foi aceitável para ambos os estressores hídricos.

A hipótese de melhora dos resultados dos estressores hídricos de demanda e eventos hidrológicos extremos em 2021 pode estar relacionada ao aumento dos índices pluviométricos, que manteve o reservatório dentro do percentual do nível médio de volume de água.

A análise da medida do risco por meio do diagnóstico dos estressores hídricos permite realizar a gestão da segurança hídrica pela perspectiva dos impactos mais severos que acometem o recurso hídrico de uma bacia hidrográfica. A junção dos estressores hídricos compõe o cenário do risco e a graduação desses estressores indica quais devem ser controlados e/ou geridos para aumentar a segurança hídrica. A gestão e a política de recursos hídricos devem garantir a segurança hídrica em uma bacia hidrográfica e/ou em um trecho da bacia.

A análise do risco à segurança hídrica da BCRCO trouxe informações referentes aos estressores que precisam ser tratados. Nesse caso, ações de gestão devem ser adotadas quando um estressor hídrico atinge o risco tolerável e/ou inaceitável.

Portanto, os estressores hídricos de uso e ocupação do solo e poluentes ordinários, considerados inaceitáveis tanto na análise do risco a segurança hídrica em 2014 quanto em 2021, exigem ações de gestão ambiental e gerenciamento de recursos hídricos. Inclusive, o estressor uso e ocupação do solo pode exercer influência sobre a demanda de água e, em situações de eventos hidrológicos extremos, esse estressor com alta severidade de impacto tem seus efeitos potencializados tanto para aumentar a escassez de água quanto para aumentar o assoreamento de represa em períodos chuvosos. Além disso, contribui para o aumento de carga orgânica e nutrientes que poluem a represa e aumentam os efeitos do estressor poluentes ordinários. Os efeitos das alterações do uso e ocupação do solo provocam sérios impactos no balanço hídrico de um manancial de água.

Já o estressor poluentes ordinários impacta diretamente o tratamento da água para abastecimento. Se a qualidade da água do manancial não atende aos padrões da classe de enquadramento e se há alterações consideráveis em seus parâmetros, coloca em risco a integridade do tratamento da água. Sendo necessário a utilização de novos produtos químicos para melhorar a qualidade, e as vezes, é imperioso desenvolver outras etapas de tratamento para equacionar a qualidade da água. Em ambas as situações de necessidade de adição de novos produtos químicos ou novas etapas de tratamento, o custo do tratamento aumenta, e a perda é sentida pelo consumidor final, tanto em saúde quanto financeiro. Como mencionado no capítulo 3.5 – Histórico da qualidade de água da represa de Chapéu D'Uvas, a proliferação de algas é uma preocupação, visto que promove o crescimento desordenado de cianobactérias que produzem cianotoxinas que são cancerígenas.

Ao longo do tempo, esse estressor poderá trazer sérios riscos à segurança hídrica do abastecimento humano de Juiz de Fora. Haja visto, como mencionado no capítulo 3.7 – Conflitos na BCRCO, quando foi interligada a adutora da represa de Chapéu ao sistema de tratamento de água de Juiz de Fora em 2014, a qualidade da água da represa ajudou a diluir o excesso de turbidez das águas que vinham de outros mananciais para a estação de tratamento. Os mananciais de abastecimento localizados em Juiz de Fora enfrentam problemas com relação a qualidade da água (ROCHA et al, 2018). E, a represa de Chapéu D’Uvas, também está apresentando qualidade inferior ao enquadramento que no futuro pode impactar na qualidade da água que chega na estação de tratamento.

Mesmo que a turbidez da água seja um parâmetro que se manteve abaixo do limite de 40 UNT na represa de Chapéu D’Uvas no período analisado, conforme estabelece a DN COPAM nº 08/2022 para corpos hídricos Classe 1. O cenário da represa de Chapéu D’Uvas sobre a qualidade da água é preocupante, já que outros parâmetros de qualidade da água apresentaram resultados insatisfatórios e muitas vezes com valores bem altos como a DBO e o Fósforo.

Para uma melhor compreensão do comportamento do estressor poluentes ordinários em um ambiente lântico, é imprescindível o monitoramento da água em mais pontos distribuídos na represa, inclusive em seus tributários, principalmente aqueles estratégicos onde o uso e ocupação do solo é caracterizado por loteamentos e atividades agrosilvopastoris de silvicultura, e utilização de agrotóxicos que geram riscos à saúde humana.

Com relação ao estressor demanda de água, a represa de Chapéu D’Uvas não apresentou riscos eminentes para a captação de água. Pelos resultados, percebe-se que esse estressor pode ser afetado se estiver associado ao estressor eventos hidrológicos extremos, como evidenciado em 2014, que representou um risco tolerável sobre a quantidade de água, devido ao período prolongado de seca na região. Já em 2021, com a normalização das chuvas, esse estressor se manteve com risco aceitável sobre a quantidade de água, assim como o estressor eventos hidrológicos extremos. Os resultados do estressor de demanda de água podem ser melhor analisados se estiverem associados com o balanço hídrico do reservatório, isto é, analisar as vazões que chegam na represa pelos tributários, pelas chuvas, com as águas que saem pela infiltração no solo, vazões de saída pela barragem e pela evaporação da água da represa.

Sobre o estressor eventos hidrológicos extremos, ressalta-se que é crucial uma investigação aprofundada das anomalias no regime de chuvas da série histórica da Estação Pluviométrica da ANA nº 2143020, associado com estudos do balanço hídrico do reservatório

o e desenvolvimento de um modelo hidrológico para a BCRC. Assim, é possível ter um diagnóstico mais apurado sobre os efeitos desse estressor na bacia hidrográfica e em seu manancial de abastecimento.

As ações de resposta do gerenciamento do risco a segurança hídrica compreendem intervenção no gerenciamento do recurso hídrico e na gestão ambiental da bacia hidrográfica. Dessa forma, ações de restauração, mitigação, controle e monitoramento devem ser implantados na BCRC com o intuito de tornar aceitáveis os riscos de uso e ocupação do solo e poluentes ordinários e mitigar os efeitos dos eventos hidrológicos extremos nos períodos que estiverem mais atuantes.

A criação de um plano diretor da área da bacia hidrográfica e um plano de uso pretendido do reservatório podem nortear o gerenciamento do recurso hídrico e do uso do solo na BCRC. E deve envolver todos os municípios detentores da bacia e o município de Juiz de Fora, principal usuário da água da represa.

Programas de gestão e novos mecanismos de monitoramento devem ser implantados, tais como: monitoramento diário da descarga da barragem, ampliação dos pontos de monitoramento da qualidade da água, batimetria da represa, instalação de estações pluviométricas e fluviométricas na área de contribuição da bacia hidrográfica.

É necessário também a atualização dos estudos hidrológicos da barragem para adequar a operação, frente às alterações de uso do solo que impactam na reservação do reservatório e devido aos eventos hidrológicos de seca e chuva que podem ocorrer na região.

Projetos de recuperação e restauração florestal, principalmente nas APP's de nascente, curso d'água e declividade, e ações de conservação das florestas existentes, ajudarão no amortecimento do escoamento superficial da bacia e na melhora da qualidade da água.

6. CONCLUSÃO

Essa dissertação teve por objetivo diagnosticar o risco a segurança hídrica da água bruta, com o propósito de investigar a situação dos estressores hídricos da BCRC D de forma inédita.

O modelo analítico de segurança hídrica utilizado foi desenvolvido por Mello (2016) na bacia do rio das Velhas. Algumas alterações metodológicas tiveram que ser aplicadas para melhor analisar a represa de Chapéu D'Uvas e sua bacia hidrográfica. Devido a características diferentes, já que se trata de uma barragem que represa água, diferente do ponto de captação no rio das Velhas a fio d'água. Nessa dissertação foi utilizada a metodologia de avaliar as cotas dos níveis de água da represa e comparar com as cotas-guias do volume útil. E, também, foi utilizado o método *Curve Number* para verificar a capacidade de retenção de água da bacia hidrográfica e avaliar a característica quanto ao escoamento superficial de água de chuva para a represa de Chapéu D'Uvas. É necessário estudos mais aprofundados sobre os efeitos dos eventos hidrológicos extremos sobre a quantidade e a qualidade de água.

Os riscos inaceitáveis de quantidade e qualidade de água do estressor de uso e ocupação do solo e o risco inaceitável sobre a qualidade de água do estressor poluentes ordinários conjeturam a realidade da bacia e da represa de Chapéu D'Uvas.

O cenário do uso e ocupação do solo dos anos de 2014 e 2021, refletem uma tendência na BCRC D já identificada por Machado (2012). O aumento do desmatamento das florestas em substituição a silvicultura e os loteamentos, principalmente nas margens da represa, e a vulnerabilidade das APP's das unidades hidrográficas e das margens da represa. O diagnóstico desse estressor evidencia uma frequência, intensidade e sequência de alterações do uso do solo na região que demonstra que a bacia hidrográfica tem um alto índice de escoamento superficial, que reflete inclusive no aumento do assoreamento da represa. Já que, a BCRC D tem uma característica de ser mais susceptível a processos erosivos. Novos estudos precisam ser desenvolvidos na BCRC D, a fim de identificar qual é o grau do impacto do assoreamento sobre a quantidade e qualidade de água da represa de Chapéu D'Uvas e seus efeitos sobre a operação da barragem.

Com relação aos poluentes ordinários, o ICE se manteve no nível péssimo ou ruim entre o período de 2014 a 2021, com a qualidade da água sempre alterada, os parâmetros tiveram uma frequência de não atendimento aos padrões estabelecidos pela DN COPAM nº08/2022 em grande parte das amostras coletadas. Esse resultado evidencia que a represa de Chapéu D'Uvas recebe aportes de carga orgânica provenientes dos afluentes, além do problema de eutrofização

do lago. Essa situação alerta para a capacidade comprometida de autodepuração da represa e requer ações urgentes de diagnóstico dos pontos de lançamento de efluentes domésticos e manobras da barragem para diminuir o processo de eutrofização do lago.

Por mais que os estressores de demanda e eventos hidrológicos extremos tenham tido resultados toleráveis em 2014 e aceitáveis em 2021, eles não atuam separadamente, e sofrem influências dos demais estressores e entre eles. Os riscos intoleráveis sobre os estressores de uso e ocupação do solo e poluentes ordinários podem a médio e longo prazo influenciar nos estressores de demanda e eventos hidrológicos extremos, se ações de gestão dos riscos não forem tomadas sobre a BCRCO e a represa de Chapéu D’Uvas.

Sendo assim, a segurança hídrica parte do pressuposto da gestão da bacia hidrográfica e do gerenciamento do recurso hídrico de água bruta. Isso posto, não há segurança hídrica para abastecimento de água urbano sem considerar a situação dos estressores hídricos que pressionam a água bruta da bacia hidrográfica que fornece água para a concessionária que abastece a população. Ações de gestão e gerenciamento da BCRCO e da represa de Chapéu D’Uvas precisam ser tomadas para mitigar os impactos da atuação associada entre os 4 (quatro) estressores hídricos diagnosticados nessa pesquisa. Reforça-se a recomendação do monitoramento da quantidade e qualidade da água do reservatório e a produção de dados.

Outrossim, há dificuldades práticas em implementar ações de gestão e gerenciamento da BCRCO, que refletem as dificuldades de todas as bacias hidrográficas brasileiras. Devido aos custos onerosos, a dificuldade de implementação da cobrança de água, da fiscalização dos usuários cadastrados e não cadastrados, falta de mão de obra, integração entre estado e municípios para gerir a água e os usos do solo.

Destaca-se a importância do comitê e da agência de bacia nesse processo de construção e implementação de ações na BCRCO. Essas instituições exercem papel fundamental na gestão do risco a segurança hídrica.

Algumas ações vêm sendo propostas pelo Comitê Preto – Paraibuna – PS1, tal como a implementação do Plano Diretor da BCRCO. Enfatiza-se as medidas para nortear os usos e ocupação do solo e propor sistemas de monitoramento da bacia e do reservatório. Por outro lado, o esforço é enorme para avançar na discussão, planejamento e execução do Plano Diretor, devido à dificuldade de articulação política entre os municípios detentores da BCRCO e o município de Juiz de Fora e a disponibilidade de recursos financeiros.

5. REFERÊNCIAS

ACÁCIO, C. A.; BERNADETE, D. C. A. L. Ambientalistas: “O manancial de Chapéu d’Uvas está correndo risco”. **O Pharol**, Juiz de Fora, 11 set. 2021. Disponível em: <https://jornalopharol.com.br/2021/09/ambientalistas-o-manancial-de-chapeu-duvas-esta-correndo-risco/>. Acesso em: 9 maio 2022.

ACÁCIO, W. A importância da represa de Chapéu D’Uvas. **Tribuna de Minas**. Juiz de Fora, 20 fev. 2019. Disponível em: <tribunademinas.com.br/opiniao/tribuna-livre/20-02-2019/a-importancia-da-represa-de-chapeu-duvas.html>. Acesso em: 09 mai. 2022.

AGÊNCIA MINAS. Plano Mineiro de Segurança Hídrica vai fortalecer gestão das águas no estado. **Meio Ambiente**. Belo Horizonte, 14 set. 2021. Disponível em: <agenciaminas.mg.gov.br/noticia/plano-mineiro-de-seguranca-hidrica-vai-fortalecer-gestao-das-aguas-no-estado>. Acesso em: 27 jun. 2022.

AGÊNCIA MINAS. Governo de Minas inicia elaboração do Plano Mineiro de Segurança Hídrica. **Meio Ambiente**. Belo Horizonte, 8 dez. 2022. Disponível em: agenciaminas.mg.gov.br/noticia/governo-de-minas-inicia-elaboracao-do-plano-mineiro-de-seguranca-hidrica Acesso em: 13 mar. 2023.

ALMEIDA, T. A. **Impactos sobre o escoamento superficial decorrentes das mudanças do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica urbana do Campus da UFJF-JF**. Monografia Trabalho Final de Curso (Departamento de Engenharia Ambiental e Sanitária). Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora/MG, 2016.

AMPLA CONSULTORIA E PLANEJAMENTO. **Plano de Saneamento Básico - Juiz de Fora/MG Produto 3: Atualização dos prognósticos e alternativas para universalização dos serviços de saneamento básico**. Juiz de Fora/MG: outubro de 2022.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Qualidade das águas em reservatórios**. Agência Nacional de Águas/Capacitação Unesp – Educação a distância, 2012a.

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Panorama da Qualidade das Águas Superficiais do Brasil**. Brasília: ANA, 2012b.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Lista de Termos para o Thesaurus de Recursos Hídricos da Agência Nacional de Águas**. Portaria nº 149 de 26 de março de 2015. Brasília: ANA, 2015.

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Resolução Conjunta ANA/DAEE Nº 925, de maio de 2017**. Dispõe sobre as condições de operação para o Sistema Cantareira – SC, delimitado, para os fins desta Resolução, como o conjunto dos reservatórios Jaguari-Jacareí, Cachoeira, Atibainha e Paiva Castro. Disponível em: <[925-2017.pdf \(ana.gov.br\)](#)> Acesso em 05 jan. 2023.

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Plano Nacional de Segurança Hídrica**. Ministério do Desenvolvimento Regional. Brasília: ANA, 2019a.

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**. Relatório Pleno. Brasília: ANA, 2019b.

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**. Relatório Pleno. Brasília: ANA, 2021a.

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Resolução ANA N° 80, 14 de junho de 2021**. Dispõe sobre condições complementares à outorga para operação dos reservatórios de Furnas e Marechal Mascarenhas de Moraes (2021b). Disponível em: < 0080-2021_Ato_Normativo_14062021_20210615085613.pdf (ana.gov.br)> Acesso em 05 jan. 2023.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2022a). **Hidroweb**. Disponível em: < HIDROWEB (snirh.gov.br)> Acesso em: 10 abr. 2022.

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **ANA define faixas de operação para reservatórios de hidrelétricas da bacia do rio Paranapanema (PR/SP)**. Brasília. 14 outubro de 2022b. Disponível em: < ANA define faixas de operação para reservatórios de hidrelétricas da bacia do rio Paranapanema (PR/SP) — Português (Brasil) (www.gov.br)> Acesso em: 10 jan. 2023.

ANDRADE, M. R. S.; TURRIONI, J. B. Uma metodologia de análise dos aspectos e impactos ambientais através da utilização do FMEA. **ResearchGate**. 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/267694135_UMA_METODOLOGIA_DE_ANALISE_DOS_ASPECTOS_E_IMPACTOS_AMBIENTAIS_ATRAVES_DA_UTILIZACAO_DO_FMEA. Acesso em: 31 mai 2022.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ISO 31.000: Gestão de riscos – diretrizes**. 2ª Edição. Rio de Janeiro, 28 mar 2018.

BAYER, M.; ASSIS, P.C.; SUIZU, T. M.; GOMES, M. C. Mudança no uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Araguaia e seus reflexos nos recursos hídricos, o trecho médio do rio Araguaia em Goiás. **Confins**, Open Edition Journals. v. 48, n. 48, 2020. DOI <https://doi.org/10.4000/confins.33972>.

BEMBEM, A. A. **Análise das áreas de preservação permanente e da qualidade da água do rio Corrente, Corrente, PI**. Dissertação de Mestrado (Pós Graduação em Conservação de Recursos Naturais do Cerrado) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Urataí/ GO, 2020.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Disponível em: < www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm>. Acesso em: 26 mai. 2022.

BRASIL. **Lei nº 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. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: < www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm>. Acesso em: 10 mai. 2022

BRASIL. **Lei nº 10.257 de 10 de julho de 2001**. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Disponível em: <lei-10257-10-julho-2001-327901-normaatualizada-pl.pdf (camara.leg.br)> Acesso em: 02 jul. 2022.

BRAVO, J. M.; COLLISCHONN, W.; PILAR, J.V.; TUCCI, C. E.M. Otimização de regras de operação de reservatórios utilizando um algoritmo evolutivo. **I Simpósio de Recursos Hídricos Sul Sudeste**. 2006.

BRAVO, J. M. **Subsídios à operação de reservatórios baseada na previsão de variáveis hidrológicas**. Tese de Doutorado (Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul/RS, 2010.

BUDDS, J. Securing the market: Water security and the internal contradictions of Chile's Water Code. **Geoforum**, v. 113, pp. 165-175, julho 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2018.09.027>.

BRÜSEKE, F. J. Risco social, risco ambiental, risco individual. **Ambiente & Sociedade**. Campinas, v. 1, n. 1, pp. 117-134, 1997.

CAMPOS, C. Obras da adutora de Chapéu D'Uvas são iniciadas. **Acessa JF.com**, Juiz de Fora, 25 maio 2010. Disponível em: <https://www.acesa.com/cidade/arquivo/meioambiente/2010/05/25-adutora/>. Acesso em: 22 jun. 2022.

CAVALCANTI, B. S.; MARQUES, G. G. Recursos hídricos e gestão de conflitos: A bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul a partir da crise hídrica de 2014-2015. **Revista de Gestão dos Países de Língua Portuguesa**. v.15, n. 1, 2016. DOI: <https://doi.org/10.12660/rglpl.v15n1.2016.78411>.

CBH PRETO E PARAIBUNA – Comitê da Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros dos rios Preto e Paraibuna. **Deliberação nº 76 de 27 de outubro de 2022**. Dispõe sobre a criação do Grupo de Trabalho para realização de estudos objetivando a elaboração do Plano de Uso da área da Bacia Hidrográfica de Contribuição da represa de Chapéu D'Uvas, bem como do reservatório – CONCHA-2.

CCME – Canadian Council of Ministers of the Environment. Canadian Environmental Quality Guidelines for the protection of aquatic life. 2017. **CCME Water Quality Index User's Manual 2017 UPDATE**. 2017. Disponível em: <Canadian Water Quality Guideline for the Protection of Aquatic Life CCME Water Quality Index User's Manual 2017 Update> Acesso em: 09 jun. 2022.

CESAMA - Companhia de Saneamento Municipal de Juiz de Fora. **Mananciais**. Juiz de Fora, 12 mai. 2022a. Disponível em: < www.cesama.com.br/mananciais/barragem-de-chapeu-d-uvras-2> Acesso em: 12 mai. 2022.

CESAMA - Companhia de Saneamento Municipal de Juiz de Fora. **Histórico dos níveis de água - Chapéu D'Uvas**. Planilha eletrônica. Juiz de Fora, 2022b.

CESAMA - Companhia de Saneamento Municipal de Juiz de Fora. **Qualidade da água no ponto de captação da represa Chapéu D'Uvas - histórico**. Planilha eletrônica. Juiz de Fora, 2022c.

CEREZIN, M. T. Segurança hídrica em tempos de pandemia de COVID-19. **Revista Mineira de Recursos Hídricos - RMRH**. v.1, n.2, pp. 1-11, 2020.

CHANG, D.; SUN, K.P. Applying DEA to enhance assessment capability of FMEA. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 26, n. 6, p. 629-643, 2009.

CHERNICHARO, C. A. L.; FILHO, C. R. M.; CAVALCANTI, D. L.; ARAÚJO, J. C.; LOBATO, L. C. S.; SILVA, L. A. C.; FUCKNER, M.A.; REIS, M. T. P.; AYRIMORAES, S. R.; RIBEIRO, T. B. Nota Técnica: Contribuição para a elaboração de planos de monitoramento da ocorrência do novo coronavírus no esgoto. Projeto: Monitoramento COVID Esgoto. **INCT ETE's SUSTENTÁVEIS, 2022**. Disponível em: <NotaTecnica1-ProtocoloMonitoramento-vf.pdf (etes-sustentaveis.org)> Acesso em: 25 jun. 2022.

CHIOZZA, M.L.; PONZETTI, C. FMEA: a model for reducing medical errors. **Clínica Chimica Acta**, v. 404, n. 1, pp. 75-88, 2009.

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF WATER MANAGEMENT IN AGRICULTURE. Water for food, water for life: A comprehensive assessment of water management in agriculture. **Earthscan/International Water Management Institute (IWMI)**. London/Colombo, 2007.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia: para Engenharia e Ciências Ambientais**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2013.

DAGNINO, R. S.; CARPI JUNIOR, S. Risco Ambiental: conceitos e aplicações. **Climatologia e Estudos da Paisagem**. v. 2, n. 2, pp. 50, 2007.

DILL, P. R. J. **Gestão Ambiental em Bacias Hidrográficas**. Tese Doutorado (Pós Graduação em Engenharia Agrícola). Universidade Federal Santa Maria. Santa Maria/RS, 2007.

DUNN, G.; COOK, C; BAKKER, K. **Water Security Guidance Document**. London, University of British Columbia, 2012.

EGLER, C. A. G. Risco ambiental como critério de gestão do território: uma aplicação à zona costeira brasileira. **Revista Território**. v. 1, 1996.

EPA – United States Environmental Protection Agency. **Health and environmental risk assessment: Strategic research action plan 2019-2022**. Office of Research and Development. Jan. 2021.

FÓRUM MUNDIAL DA ÁGUA. **Declaração Ministerial: um chamado urgente para uma ação decisiva sobre água**. Brasília: 18 a 23 de mar. 2018.

GUNDA, T.; HESS D.; HORNBERGER, G. M.; WORLAND, S. Water security in practice: The quantity-quality-society nexus. **Water Security**, v. 6, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2018.100022>.

GWP – Global Water Partnership. Rio+20: Segurança hídrica para crescimento e sustentabilidade. **Global Water Partnership: Resumo da política**. Estocolmo, Suécia. Fevereiro de 2012.

HELMAN, H.; ANDERY, P. R. P. **Análise de falhas (Aplicação dos métodos de FMEA e FTA)**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, v. 11. pp. 160, 1995.

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Extração vegetal e silvicultura de Antônio Carlos/MG**. 2022a. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/antonio-carlos/panorama>>. Acesso em: 09 dez. 2022.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Extração vegetal e silvicultura de Ewbank da Câmara/MG**. 2022b. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/ewbank-da-camara/panorama>>. Acesso em: 09 dez. 2022.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Extração vegetal e silvicultura de Santos Dumont/MG**. 2022c. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/santos-dumont/panorama>> . Acesso em: 09 dez. 2022.

IDE-SISEMA – Infraestrutura de dados Espaciais. **Usos insignificantes (2023)**. Disponível em: <<https://idesisema.meioambiente.mg.gov.br/webgis>> Acesso em: 18 jan. 2023.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. **Intergovernmental Panel on Climate Change: Working Group II**. Switzerland. Mar. 2022.

JIANG, Y. China's water security: Current status, emerging challenges and future prospects. **Environmental Science & Policy**. v. 54, pp. 106 – 125, 4 jun. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2015.06.006>

JUNIOR, E. J. C.; BACARJI, A. G.; BONATTI, JULIANO. Levantamentos de aspectos e impactos ambientais do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, campos de Cuiabá – Bela Vista. II **Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, 2011, Londrina-PR.

KALIL, L; CHECCO, G. B. Segurança hídrica e mudanças climáticas no Brasil: uma entrevista cruzada com Jerson Kelman e João Paulo Capobianco. **Open Edition Journals**. 2019. Disponível em: < (PDF) Segurança hídrica e mudanças climáticas no Brasil: uma entrevista cruzada com Jerson Kelman e João Paulo Capobianco. (researchgate.net)> Acesso em: 20 jun. 2022.

KUMRU, M.; KUMRU, P. Y. Fuzzy FMEA application to improve purchasing process in a public hospital. **Applied Soft Computin** v. 13, pp. 721–733, 2012.

LANDIS J.R.; KOCH, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**. v. 33, pp. 159-174. 1977.

LINDHE, A; ROSEN, L.; NORBERG, T.; BERGSTEDT, O.; PETTERSSON, T. J. R. Cost-effectiveness analysis of risk-reduction measures to reach water safety targets. **Water Research**. v. 45, pp. 241-253. 20, 2011. DOI:10.1016/j.watres.2010.07.048.

LOFTUS, A. Water (in)security: Securing the right to water. **The Geographical Journal**. v. 181, No. 4, pp. 350-356, 2015.

LOPES, J. E. G.; SANTOS, R. C. P. **Capacidade de reservatórios**. Escola Politécnica da Universidade Federal de São Paulo (PHD – 5706 – Estruturas Hidráulicas). Universidade Federal de São Paulo. São Paulo/SP. 2002.

LOUCKS, D. P; STEDINGER, J. R.; HAITH D. A. **Water resources systems planning and analysis**. Prentice-Hall Inc., pp. 559, New Jersey, 1981.

MACHADO, P. J. O. **Diagnóstico ambiental e ordenamento territorial: instrumentos para a gestão da Bacia de Contribuição da Represa de Chapéu D’Uvas, MG**. Tese de Doutorado (Programa de Pós Graduação em Geografia). Universidade Federal Fluminense (UFF). Niterói/RJ, 2012.

MACHADO, P. J. de O.; SILVA, R. G. da. A utilização da Represa de Chapéu D’Uvas como manancial de abastecimento de Juiz de Fora/MG. In: **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, 3, 2007, Tupã. Anais... Tupã: Associação Amigos da Natureza da Alta Paulista, pp. 1-16, 2007.

MAGNA ENGENHARIA LTDA. **Estudo de viabilidade para alternativas de captação de água em Juiz de Fora: Relatório final das soluções alternativas para captação de água – Memorial Descritivo**. Juiz de Fora: Prefeitura de Juiz de Fora/Companhia de Saneamento Municipal, 2003.

MACIEL, D. S. C.; FREITAS, S. F. Utilização do método FMEA na identificação e análise dos impactos ambientais causados pelos postos de combustíveis: Um estudo de caso. **Revista ADM UFSM**, v. 7, número 4, pp. 570-589, 2014.

MARTINS, F.; ZAMBRANO, T. F. Utilização da metodologia FMEA para análise dos impactos ambientais em uma empresa do ramo de usinagem. **XXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP**, 2003, Ouro Preto-MG.

MAYS, L. W.; TUNG, Y. K. **Hydrosystems engineering and management**. McGraw-Hill Inc., New York, pp. 530, 1992.

MELLO, M. C. **Segurança Hídrica para Abastecimento Urbano: proposta de modelo analítico e aplicação na bacia do rio das Velhas, Minas Gerais**. Tese de Doutorado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro-UFRJ. Rio de Janeiro/RJ, 2016.

MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa COPAM nº 16 de 24 de setembro de 1996**. Dispõe sobre o enquadramento das águas estaduais da bacia do rio Paraíba. Disponível em: < DELIBERAÇÃO NORMATIVA Nº /96 (siam.mg.gov.br)> Acesso em: 23 mar. 2022.

MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa COPAM nº 08 de 21 de novembro de 2022.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e das outras providências. Disponível em: <www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=56521> Acesso em: 30 jan. 2023.

MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa COPAM nº 217 de 06 de dezembro de 2017.** Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, bem como os critérios locais a serem utilizados para definição das modalidades de licenciamento ambiental de empreendimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais no Estado de Minas Gerais e dá outras providências. Disponível em: <www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=45558> Acesso em: 28 mar. 2022.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **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. Disponível em: < MMA - Ministério do Meio Ambiente (siam.mg.gov.br)> Acesso em: 23 mar. 2022.

MINISTRY OF WATER RESOURCES OF CHINA AND THE WORLD WATER COUNCIL (2018). **Global water security.** Springer – Nature, Singapore-China. March 2018.

MIRANDA, R. Empreendimento ligado a ex-prefeito é autuado em Chapéu D’Uvas. **O Pharol**, Juiz de Fora, 11 set. 2021. Disponível em: <https://jornalopharol.com.br/2021/09/empreendimento-ligado-a-ex-prefeito-e-autuado-em-chapeu-duvas/>. Acesso em: 9 maio 2022.

NASCIMENTO, I. J. **Análise da capacidade hídrica de reservatórios críticos do Estado de Pernambuco.** Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil – Centro Acadêmico do Agreste). Universidade Federal de Pernambuco. Pernambuco/PB, 2018.

OECD – Organization for Economic Co-operation and Development. Water security for better lives, **OECD Studies on Water.** OECD Publishing, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1787/9789264202405-en>.

OECD - Organization for Economic Co-operation and Development. Diffuse Pollution, Degraded Waters: Emerging policy solutions. **OECD Studies on Water**, OECD Publishing, Paris, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1787/9789264269064-en>.

OMS - ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. Water Safety Plan Manual: Step-by-step risk management for drinking-water suppliers. **International Water Association.** Genebra: OMS, 2009.

OLIVEIRA FILHO, G. R. A crise da água na região metropolitana de São Paulo em 2014 e a ineficiente gestão dos recursos hídricos. **CES Revista**, v. 29, n. 1. pp. 5-20. Juiz de Fora: jan./jul. 2015.

OLIVEIRA FILHO, G. R. Enfrentamento a crise hídrica. **Tribuna de Minas**. Juiz de Fora, 19 out. de 2014. Disponível em: Enfrentando a crise hídrica (tribunademinas.com.br) Acesso em: 09 mai. 2022.

OLIVEIRA, M. **Limnologia da Paisagem com uso de regressão geograficamente ponderada: estudo da qualidade da água na represa de Chapéu D'Uvas, MG**. Tese de Doutorado (Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada ao Manejo e Conservação dos Recursos Naturais). Universidade Federal de Juiz de Fora-UFJF. Juiz de Fora, 2018.

ONU - UNITED NATIONS. What is water security? Infographic. **Un Water**, 2013. Disponível em: < <https://www.unwater.org/publications/water-security-infographic>> Acesso em: 13 jun. 2021.

PORTO, M. F. A.; PORTO R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63. São Paulo, 2008.

PREFEITURA JUIZ DE FORA. Cesama inicia obras da nova interligação entre adutora de Chapéu d'Uvas e estação de tratamento do sistema "João Penido". **Portal de Notícias**, Juiz de Fora Prefeitura, 14 out. 2015. Disponível em: <https://www.pjf.mg.gov.br/noticias/view.php?modo=link2&idnoticia2=51686>. Acesso em: 5 maio 2022.

PREFEITURA DE JUIZ DE FORA. **Plano de Saneamento Básico - Juiz de Fora/MG: Produto II e III**. Juiz de Fora: julho de 2013.

PROFIL. **PIRH-PS1- Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do rio Paraíba do Sul**: Produto Final 05. Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros dos Rios Preto e Paraibuna. Maio de 2021.

PROSDOCIMI, M.; CERDA, A.; TAROLLI, P. Soil water erosion on Mediterranean vineyards: a review. **Catena**, v. 141, pp. 1-21, 2016.

RAMOS, N. M. R. **Modelagem na gestão de sistemas hídricos integrados do semiárido brasileiro: Estudo de caso do Agreste Pernambucano**. Tese de Doutorado (Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Pernambuco. Pernambuco/PB, 2017.

RIBEIRO, C. R. **Planejamento ambiental e gestão de recursos hídricos na bacia hidrográfica da represa de Chapéu D'Uvas - Zona da Mata e Campos das Vertentes/MG**. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós Graduação em Geografia). Universidade Estadual Paulista - UNESP. Presidente Prudente, 2012.

ROCHA, C. H. B.; OLIVEIRA, M.; MARCELINO, G. W.; FERREIRA, R. C.; COSTA, H. F.; VASCONCELOS, D.; CASQUIN, A. P. Qualidade da água bruta das represas de abastecimento público de Juiz de Fora (MG), Brasil. **In: III Simpósio de Recursos Hídricos da Bacia do rio Paraíba do Sul**. Juiz de Fora, 2018.

ROCHA, C. H. B; COSTA, H. F. Variação temporal de parâmetros limnológicos em manancial de abastecimento em Juiz de Fora, MG. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**.

v. 20, n. 2. pp. 543-550, Porto Alegre. Abri/Jun. 2015. DOI: <http://10.21168/rbrh.v20n2.p543-550>.

ROSS, J. L. S; DEL PRETTE, M. E. Recursos hídricos e as bacias hidrográficas: âncoras do planejamento e gestão ambiental. **Revista do Departamento de Geografia**, n.12, p.89-121, 1998.

SANTOS, J. C. N.; ANDRADE, E. M.; MEDEIROS, P. H. A.; GUERREIRO, M. J. S.; PALÁCIO, H. A. Q. Land use impact on soil erosion at different scales in the Brazilian semi-arid. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, pp. 251-260, 2017.

SARTORI, A. **Avaliação da classificação hidrológica do solo para a determinação do excesso de chuva do método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos**. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil). Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. Campinas, 2004.

SIGA-CEIVAP (2022). **Sistema de informações geográficas e geoambientais da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul** Disponível em: <<https://sigaaguas.org.br/sigaweb/apps/ceivap/>> Acesso em: 09 mai. 2022.

SOARES, A. M.; LIMA, R. G. R.; COSTA, M. R. V.; CAMILO, D. G. G. O FMEA como método de avaliação do risco ambiental: estudo de caso em uma lavanderia na região de Natal – RN. **XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP**. Salvador, BA. 11 de outubro de 2013.

SOUSA, M. M. O que é o volume morto? **AquaFluxus – Consultoria Ambiental em Recursos Hídricos**. 2015. Disponível em: <O que é “volume morto” ? | AquaFluxus | Consultoria Ambiental em Recursos Hídricos> Acesso em: 15 mar. 2023..

SILVA, R. G. da. **O uso da Represa de Chapéu D’Uvas como manancial de abastecimento urbano**. Monografia (Graduação em Geografia) – Instituto de Ciências Humanas, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2007.

STEINBERGER, M. (Org.). **Território, ambiente e políticas públicas espaciais**. Brasília: Paralelo 15 e LGE Editora, 2006.

TOLEDO, J. C.; AMARAL, D. C. **FMEA – Análise do tipo e efeito de falha**. Departamento de Engenharia de Produção. Universidade Federal de São Carlos. 2012. Disponível em: <<https://sigaaguas.org.br>: Grupo de estudos e pesquisa em qualidade. Acesso em: 10 out. 2022.

TOMAZ, P. **Cálculos hidrológicos e hidráulicos para obras municipais: Piscinões, galerias, bueiros, canais, método SCS, Denver, Santa Bárbara, Racional, TR-55**. São Paulo: Editora Navegar. pp.119-136 e pp.433-435, 2002.

TRATA BRASIL (2022). **Saneamento: Principais estatísticas**. Disponível em: Esgoto - Trata Brasil. Acesso em: 29 jun. 2022.

TUCCI, C.E.M.; SILVEIRA, A. L.L., (Org). **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 4ª Edição. Cap. 11, pp.391-394 e Cap. 21, pp.805-808. 2012.

UNESCO. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E CULTURA. Water Security & the Global Water Agenda: a UN-Water analytical brief. United Nations University: **Institute for Water, Environment & Health**. Ontario-CA: UNESCO, pp. 2 – 3, 2013.

USDA - United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Conservation Engineering Division. Urban Hydrology for Small Watersheds. **Technical Release 55**. Washington: NRCS,1986.

VANDENBRANDE, W. W. How to use FMEA to reduce the size of your quality toolbox. **Quality Progress**. v.31, n.11, pp. 97-100, 1998.

VILAS BÔAS, R. N.; PERES, A. P. Análise dos aspectos e impactos ambientais através da utilização do método FMEA em um laticínio na região de Ingaí-MG. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**. v. 10, n.18, pp. 269. Goiânia-GO, 2014.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Imprensa Universitária da UFMF, 3ª Edição. pp. 15-45. 2005

VOROSMARTY, C. J.; DOUGLAS, E. M.; GREEN, P. A.; REVENGA, C. Geospatial Indicators of Emerging Water Stress: An application to Africa. Royal Swedish Academy of Sciences. **Ambio** v. 34, n.03. mai. 2014.

WATERAID. **Water Security Framework**. London: WaterAid, 2012.

WHITTINGTON, D.; SADOFF, C.; ALLAIRE, M. **The Economic Value of Moving Toward a More Water Secure World**. Estocolmo: GWP, 2013.

WMO – World Meteorological Organization. The Dublin Statement and Report of the Conference. **International Conference on Water and the Environment: Development Issues for the 21st Century**. Dublin, Ireland, 26-31 January 1992.

WORLD WATER FORUM (2000). **Ministerial Declaration of The Hague on Water Security in the 21st Century**. Hague: March 2000. Disponível em: < Microsoft Word - The Hague_Declaration.doc (worldwatercouncil.org)> Acesso em: 20 abr. 2022.

WWAP - UNESCO World Water Assessment Programme. **The United Nations World Water Development Reporte 2017: Wastewater - The Untapped Resource**. Paris, UNESCO: 2017.

WWAP - UNESCO World Water Assessment Programme. **The United Nations World Water Development Reporte 2021: Valuing Water**. Paris, UNESCO: 2021.

ZAMBRANO, T. F; MARTINS, M. F. Utilização do método FMEA para avaliação do risco ambiental. **Gestão Produção**. v.14, n. 2, pp. 295-309. São Carlos. Agosto, 2007.

ZIMMERMAN, J. B., MIHELICIC, J. R., E SMITH, J. Global Stressors on Water Quality and Quantity. **Environmental Science & Technology**. 15 jun. 2008.

**ANEXO I – Análises da Água da Represa Chapéu D’Uvas no Ponto de
Monitoramento da CESAMA**

Análises da Água da Represa Chapéu D'Uvas no Ponto de Monitoramento da Cesama

CHAPÉU DUVAS - 2014												
PARÂMETROS	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO
pH	7,18	6,96	6,84	7,08	6,70	6,86	6,99	7,35	7,12	7,21	7,65	7,57
Cor(mg Pt/L)	<2,5	2,5	<2,5	10,0	7,5	7,5	10	5	5	5	7,5	10
Turbidez(NTU)	2,51	2,73	2,40	2,27	1,75	1,51	2,42	1,45	2,37	2,01	2,57	2,52
Ferro(mg/L)	0,053	0,09	0,05	<0,05	0,05	0,12	0,22	0,05	0,05	0,06	0,05	< 0,05
Alumínio (mg/L)	x	x	<0,1	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Manganês(mg/L)	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	< 0,5
Alcalinidade Parcial (mg/L)	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	< 5,0
Alcalinidade Total (mg/L)	9,9	9,5	9,5	10,9	14,2	12,2	13,2	13,7	10,79	9,0	14,0	11,7
Cloretos(mg/L)	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	< 2,0	<2,0	<2,0	< 2,0	< 2,0
Dureza(mg/L)	9,5	7,5	6,5	7,5	15,0	11,5	9,0	6,5	<2,0	6,5	8,5	7,6
Oxigênio Consumido(mg/L)	1,4	3,1	3,0	1,5	3,39	3,2	3,0	1,41	<1,0	2,6	< 1,0	1,2
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	2,41	11,76	2,89	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Condutividade(uS/cm)	22,53	23,17	18,80	22,97	20,2	2,50	25,00	22,60	23,43	22,75	20,69	22,95
DBO(mg/L)	0,0	16,4	9,8	10,9	8,2	3,8	1,6	5,4	8,2	6,5	10,4	0,0
Fosfato TOTAL (mg/L)	x	0,07	0,07	0,08	0,85	0,02	0,06	0,05	x	x	x	x
NitrogênioTOTAL(mg/L)	x	<0,5	<0,5	<0,5	x	x	x	1,0	<0,5	x	0,3	0,2
Coliformes Totais(NMP/100mL)	x	x	$4,3 \times 10^3$	$1,6 \times 10^4$	$2,7 \times 10^3$	$2,0 \times 10^3$	$1,4 \times 10^3$	$1,1 \times 10^2$	$2,0 \times 10^3$	$1,4 \times 10^3$	x	$>2,4 \times 10^3$
Escherichia coli(NMP/100mL)	x	x	$<1 \times 10^2$	$<1 \times 10^2$	$1,0 \times 10^2$	$<1,0 \times 10^2$	1,0	< 1	3,1	$1,5 \times 10^1$	x	3
Cianobactérias(células/mL)	1533,7	3067,5	7668,7	4601,2	não detectadas	1179,8	não detectadas	707,9	696,5	682,0	964,0	835,3

Fonte: Cesama (2022c)

CHAPÉU DUVAS - 2015												
PARÂMETROS	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO
pH	7,43	7,26	7,00	7,17	7,00	7,25	7,74	7,41	7,57	7,12	7,49	6,96
Cor(mg Pt/L)	7,5	7,5	5	7,5	7,5	5	< 2,5	< 2,5	2,5	5	< 5	< 5
Turbidez(NTU)	3,72	2,65	2,58	2,04	2,14	1,54	1,14	1,92	1,66	2,41	2,56	5,14
Ferro(mg/L)	0,28	< 0,05	< 0,05	0,09	0,27	0,31	1,14	<= 0,05	< 0,05	0,07	< 0,05	< 0,05
Manganês(mg/L)	< 0,5	< 0,5	0,5	0,092	0,063	x	0,067	0,016	0,013	0,023	0,012	< 0,01
Alcalinidade Parcial (mg/L)	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0
Alcalinidade Total (mg/L)	11,7	11,72	13,07	19,50	13,5	13,4	11,28	9,23	12,81	12,1	13,1	14,1
Cloretos(mg/L)	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 6,0	< 6,0	< 6,0	< 6	< 6,0
Dureza(mg/L)	6,5	5,52	16,55	7,6	9,68	10,5	5,3	7,40	8,6	7,3	6,86	12,53
Oxigênio Consumido(mg/L)	1,6	< 1,0	< 1,0	1,9	1,72	< 1	1,2	< 1,0	2,3	1,1	1,07	1,05
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	x	x	x	x	7,11	x	x	x	x	x	x	x
Condutividade(uS/cm)	16,60	23,94	23,38	24,37	27,18	26,47	26,52	25,16	23,72	23,21	20,97	27,95
DBO(mg/L)	10,9	8,2	0	x	x	3,2	0	x	x	< 12	>90	x
Fosfato TOTAL (mg/L)	0,03	0,04	0,02	0,03	0,03	x	0,023	0,06	0,04	< 0,02	< 0,02	0,036
NitrogênioTOTAL(mg/L)	x	x	x	x	x	x	1,4	0,1	160	0,5	0,3	0,3
Coliformes Totais(NMP/100mL)	$2,0 \times 10^3$	x	$1,1 \times 10^3$	$4,9 \times 10^2$	$5,2 \times 10^2$	x	x	x	x	x	$>2,4 \times 10^3$	$2,0 \times 10^3$
Escherichia coli(NMP/100mL)	6,3	x	$1,5 \times 10^1$	1	< 1	x	x	x	x	x	$1,2 \times 10^1$	2
Cianobactérias(células/mL)	2473,5	8656,0	44244,0	59461,9	3306,5	1011,5	6519,5	27725,3	40114,6	14511,5	53	1309,1

Fonte: Cesama (2022c)

CHAPÉU DUVAS - 2016												
PARÂMETROS	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO
DATA	25/01/2016	22/02/2016	28/03/2016	25/04/2016	23/05/2016	27/06/2016	25/07/2016	22/08/2016	28/09/2016	25/10/2016	21/11/2016	26/12/2016
pH	6,97	8,20	7,9	7,38	6,98	6,85	6,69	7,40	7,45	7,51	7,85	6,75
Cor(mg Pt/L)	10	5	7,5	5	2,5	2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	X	< 2,5
Turbidez(NTU)	1,72	2,67	11,57	1,70	11,21	1,81	0,61	1,06	2,19	2,51	2,51	2,15
Ferro(mg/L)	0,07	0,15	0,09	0,11	0,95	0,12	0,05	0,06	0,09	0,09	0,06	0,08
Manganês(mg/L)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	0,026	< 0,01	0,048
Alcalinidade Parcial (mg/L)	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0
Alcalinidade Total (mg/L)	11,3	14,21	13,61	10,92	16,82	12,07	14,0	13,04	15,2	14,14	12,6	11,4
Cloretos(mg/L)	< 6,0	< 6,0	< 6,0	< 6,0	< 6,0	< 6,0	< 6,0	< 6,0	< 6,0	< 6,0	< 6,0	< 6,0
Dureza(mg/L)	7,74	10,79	9,96	8,50	12,43	10,20	6,5	8,74	8,75	8,03	7,7	6,7
Oxigênio Consumido(mg/L)	1,40	1,5	1,9	2,67	2,92	1,97	2,52	1,5	< 1,0	1,68	1,5	1,1
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	X	X	X	5,9	5,1	6,5	5,1	7,5	7,1	5,6	6,2	5,8
Condutividade(uS/cm)	23,9	28,04	23,68	25,56	31,8	27,86	29,22	29,19	30,3	27,83	25,55	23,48
DBO5(mg/L)	13,7	< 12	< 12	15,38	< 12	< 12	< 12	< 12	< 12	< 12	< 12	18,1
Fosfato TOTAL (mg/L)	0,029	< 0,02	0,023	< 0,02	0,034	0,069	X	X	0,02	< 0,02	0,04	0,03
NitrogênioTOTAL(mg/L)	0,2	0,8	< 0,5	< 0,5	1,7	< 0,02	0,5	0,2	0,6	0,2	0,1	0,1
Coliformes Totais(NMP/100mL)	1,1 X 10 ⁴	X	X	X	X	X	> 2,4 X 10 ³	> 2,4 X 10 ³	2,3 X 10 ³	> 2,4 X 10 ³	> 2,4 X 10 ³	1,9 X 10 ³
Escherichia coli(NMP/100mL)	1,0 X 10 ¹	X	X	X	X	X	9,6	8,4	1,0 X 10 ¹	9,7	1,2 X 10 ¹	1,0
Cianobactérias(células/mL)	15455,4	8721,0	6349,5	2259,0	97,8	não detectadas	106,3	59,5	não detectadas	2856,0	4505,0	12537,5

Fonte: Cesama (2022c)

CHAPÉU DUVAS - 2017												
PARÂMETROS	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO
CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO				2384	3050	3648	4273	4963	5521	6103	6815	7493
DATA	23/01/2017	20/02/2017	27/03/2017	24/04/2017	29/05/2017	26/06/2017	24/07/2017	28/08/2017	25/09/2017	23/10/2017	27/11/2017	27/12/2017
pH	8,00	7,24	6,69	6,77	6,94	7,07	7,09	7,21	7,77	7,48	7,25	7,26
Cor(mg Pt/L)	< 2,5	< 2,5	5	2,5	< 2,5	< 2,5	2,5	< 2,5	< 2,5	< 2,5	X	< 2,5
Turbidez(NTU)	2,75	2,59	1,73	2,37	0,5	1,34	1,28	1,01	1,71	2,5	1,84	2,2
Ferro(mg/L)	0,09	0,08	< 0,05	0,62	0,13	0,06	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,05	< 0,05
Manganês(mg/L)	0,06	0,05	0,04	0,09	0,05	0,04	< 0,01	0,021	0,03	0,044	0,035	0,028
Alcalinidade Parcial (mg/L)	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0
Alcalinidade Total (mg/L)	12,90	9,9	11,6	13,6	10,6	11,8	10,89	9,05	11,23	11,6	11,87	10,8
Cloretos(mg/L)	< 6,0	< 6,0	< 6,0	< 6,0	< 6,0	< 6,0	< 6,0	< 6,0	< 6,0	< 6,0	< 6,0	< 6,0
Dureza(mg/L)	8,88	7,8	6,81	10,9	< 2,0	11,5	8,10	6,75	6,78	6,83	6,12	7,91
Oxigênio Consumido(mg/L)	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	1,22	1,15	1,02	1,15
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	5,90	3,7	5,8	5,95	5,0	5,8	X	0,20	1,1	1,1	1,6	5,31
Condutividade(uS/cm)	26,77	19,45	15,65	26,11	25,83	26,81	25,84	25,47	26,13	26,02	26,43	25,26
DBO(mg/L)	X	< 12,0	12,8	< 12,0	< 12,0	12,2	X	16,6	14,8	13,5	< 12	24,4
Fosfato TOTAL (mg/L)	0,03	0,03	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,02	0,02	0,033	< 0,02	< 0,02
NitrogênioTOTAL(mg/L)	< 0,5	0,8	< 0,5	0,6	X	X	X	< 0,5	0,3	8,5	0,6	< 0,5
Coliformes Totais(NMP/100mL)	1,1 x 10 ³	> 2,4 x 10 ³	X	X	X	X	1,0 X 10 ³	> 2,4 x 10 ³	> 2400	> 2400	X	X
Escherichia coli(NMP/100mL)	2,00	5,2	X	X	X	X	4,1	< 1	9,5	4,1	X	X
Cianobactérias(células/mL)	37635,60	24580,0	103824,6	1564,0	327,3	476,0	1317,5	4318,0	5788,5	5576,0	1381,3	1776,5

Fonte: Cesama (2022c)

CHAPÉU DUVAS - 2018												
PARÂMETROS	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO
CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO	0465/18	1085/18	1795/18	2268/18	2833/18	3402/18	4005/18	4576/18	5173/18	5770/18	5934	7083/18
DATA	22/01/2018	26/02/2018	26/03/2018	23/04/2018	21/05/2018	25/06/2018	24/07/2018	27/08/2018	24/09/2018	22/10/2018	29/10/2018	26/12/2018
pH	7,26	7,92	7,52	7,14	7,13	7,17	7,48	7,48	7,45	7,67	7,02	7,77
Cor(mg P/L)	< 5,0	< 5,0	< 5,0	10,5	15,2	6,8	< 5,0	5,1	< 5,0	20,1	< 5,0	< 5,0
Turbidez(NTU)	1,23	1,62	3,2	2,55	7,64	1,68	0,86	1,37	2,16	2,86	2,51	2,1
Ferro(mg/L)	< 0,05	0,07	0,08	0,28	0,34	0,08	0,81	0,06	0,05	0,08	0,28	0,06
Manganês(mg/L)	0,03	0,039	0,062	0,082	0,112	0,032	0,028	0,028	0,025	0,042	0,13	0,035
Alcalinidade Parcial (mg/L)	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0
Alcalinidade Total (mg/L)	11,42	11,43	12,27	12,2	10,95	13,22	12,24	12,38	11,15	7,7	11,37	11,28
Cloretos(mg/L)	< 6,0	< 6,0	< 6,0	< 6,0	< 6,0	< 6,0	< 6,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0
Dureza(mg/L)	7,60	7,35	7,32	9,43	9,00	9,15	8,18	5,15	8,39	8,39	7,08	7,16
Oxigênio Consumido(mg/L)	1,32	2,10	2,02	1,19	1,11	< 1,0	1,23	1,49	1,2	1,16	1,18	< 1,0
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	5,38	7,52	6,7	5,55	6,06	7,475	8,12	8,85	9,1	8,53	7,98	7,58
Condutividade(µS/cm)	26,20	25,4	27,3	29,34	29,77	26,42	23,44	27,95	20,16	25,65	23,45	23,98
DBO(mg/L)	18,90	30,89	21,9	< 12	< 12,0	33,1	x	x	< 12,0	x	12,16	< 12,0
Fosfato TOTAL (mg/L)	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
NitrogênioTOTAL(mg/L)	< 0,5	2,5	< 0,5	3,9	0,6	< 0,5	x	< 0,5	0,5	< 0,5	0,2	< 0,5
Nitrito	x	x	x	x	x	x	x	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Nitrato	x	x	x	x	x	x	x	0,8	0,649	0,450	0,709	0,117
Coliformes Totais(NMP/100mL)	>2400	>2400	>2400	2400	x	x	>2400	>2400	200	x	x	x
Escherichia coli(NMP/100mL)	8,50	31	6,3	3,1	x	x	1,0	2,0	2	x	x	x
Cianobactérias(células/mL)	3306,5	1003,0	238,0	157,3	x	x	x	x	x	211191	156919	81802

Fonte: Cesama (2022c)

CHAPÉU DUVAS - 2019												
PARÂMETROS	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO
CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO	0522/19	1144/19	1776/19	2437/19	3171/19	3798/19	4380/19	4972/19	5575/19	6132/19	6727/19	7253/19
DATA	23/01/2019	20/02/2019	27/03/2019	24/04/2019	29/05/2019	03/07/2019	31/07/2019	28/08/2019	25/09/2019	23/10/2019	27/11/2019	26/12/2019
Temperatura	27,8	31,2	24,2	24,2	24,3	22,1	20,0	19,6	21,0	24,0	24,0	27,1
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	5,70	6,92	X	4,575	3,86	6,76	8,08	5,28	x	8,01	6,25	7,44
pH	7,17	7,13	7,05	6,98	7,30	7,31	7,72	7,62	7,71	7,97	7,24	7,50
Cor(mg P/L)	< 5,0	< 5,0	6,9	< 5,0	13,4	< 5,0	< 5,0	26,9	20,3	12,4	19,9	17,9
Turbidez(NTU)	1,90	0,45	1,09	1,39	1,08	2,75	2,85	2,35	2,55	1,06	3,24	3,61
Ferro(mg/L)	0,08	0,97	0,06	0,07	0,87	0,14	0,06	0,05	0,06	0,06	3,43	0,10
Manganês(mg/L)	0,03	0,197	0,028	0,037	0,188	0,044	0,028	0,036	0,037	< 0,01	< 0,01	0,037
Alcalinidade Parcial (mg/L)	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0
Alcalinidade Total (mg/L)	11,35	11,84	10,1	13,63	15,75	13,92	14,11	13,20	12,82	12,21	10,50	10,6
Cloretos(mg/L)	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0
Dureza(mg/L)	7,67	7,86	8,06	6,72	9,87	6,33	7,88	5,91	6,18	7,40	7,19	4,27
Oxigênio Consumido(mg/L)	< 1,0	x	1,2	< 1,0	2,79	< 1,0	1,72	< 1,0	1,13	< 1,0	< 1,0	x
Condutividade(µS/cm)	21,56	27,5	26,22	29,35	33,2	29,05	27,65	29,17	24,4	28,3	29,29	28,27
DBO(mg/L)	< 12,0	< 12,0	< 12,0	< 12,0	< 12,0	x	X	< 12,0	< 12	< 12,0	< 12,0	13,20
Fosfato TOTAL (mg/L)	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,02	< 0,020	0,03	0,04	0,03	0,026	0,23	0,02
NitrogênioTOTAL(mg/L)	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,3	1,5	0,9	1,6	2,4	4,6	< 0,5	< 0,5	0,9
Nitrito	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Nitrato	0,111	0,2	< 0,10	0,57	1,30	0,77	1,40	0,18	x	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Coliformes Totais(NMP/100mL)	X	x	x	130	>2400	>2400	>2419,2	>2419,2	316,9	1986,3	15531	>2419,6
Escherichia coli(NMP/100mL)	X	x	x	11	3,1	2	2,0	< 1	1,0	4,1	8,4	12
Cianobactérias(células/mL)	54507	34686	52218	1888	14512	51439,0	40705	66027	71577	69021	115624	162818

Fonte: Cesama (2022c)

CHÁPEU D'UVAS - 2020												
PARÂMETROS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO	0598/20	1248/20	1773/20	2287/20	2736/20	3251/20	3842/20	4371/20	488/20	5561/20	6161/20	6716/20
DATA	29/01/20	04/03/20	01/04/20	29/04/20	27/05/20	24/06/20	29/07/20	26/08/20	23/09/20	28/10/20	25/11/20	23/12/20
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	6,91	9,18	6,95	6,95	3,64	7,30	6,03	5,46	7,27	7,18	5,73	6,83
Oxigênio Dissolvido (%)	87,3	98,9	81	82	45,3	88,5	x	65,4	90,7	87,0	74,7	86,2
Temperatura	26,5	25,0	27,8	27,6	22,2	20,8	21,1	20,7	22,8	25,0	24,0	23,4
pH	7,33	6,98	x	x	x	x	x	x	x	7,39	x	x
Cor(mg Pt/L)	21,89	17,50	x	x	x	x	x	x	x	< 5,0	x	x
Turbidez(NTU)	2,43	1,69	x	x	x	x	x	x	x	1,39	x	x
Ferro(mg/L)	0,18	< 0,05	x	x	x	x	x	x	x	0,06	x	x
Manganês(mg/L)	0,030	0,025	x	x	x	x	x	x	x	0,026	x	x
Alcalinidade Parcial (mg/L)	< 5,0	< 5,0	x	x	x	x	x	x	x	< 5,0	x	x
Alcalinidade Total (mg/L)	11,97	11,3	x	x	x	x	x	x	x	11,3	x	x
Cloretos(mg/L)	< 5,0	< 5,0	x	x	x	x	x	x	x	< 5,0	x	x
Dureza(mg/L)	4,12	< 2,0	x	x	x	x	x	x	x	6,51	x	x
Oxigênio Consumido(mg/L)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	< 1,0	x	x
Condutividade(uS/cm)	26,72	31,30	x	x	x	x	x	x	x	27,75	x	x
DBO5(mg/L)	< 12,0	< 12	x	x	x	x	x	x	x	55,49	x	x
Fosfato TOTAL (mg/L)	0,31	0,26	x	x	x	x	x	x	x	< 0,02	x	x
NitrogênioTOTAL(mg/L)	2,70	< 0,5	x	x	x	x	x	x	x	4,7	x	x
Sólidos dissolvidos totais(mg/L)	24,00	35,2	x	x	x	x	x	x	x	22	x	x
Nitrito (mg/L)	< 0,05	< 0,05	x	x	x	x	x	x	x	< 0,05	x	x
Nitrato (mg/L)	0,44	0,23	x	x	x	x	x	x	x	0,33	x	x
Coliformes Totais(NMP/100mL)	1046,2	>2419,6	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Escherichia coli(NMP/100mL)	14,8	11,0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Cianobactérias(células/mL)	64891	43271	47157	38259	26798	21000	43653	393131	55158	210012	86423	x

Fonte: (2022c)

CHÁPEU D'UVAS - 2021												
PARÂMETROS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
CÓDIGO DE IDENTIFICAÇÃO	0500/21	1047/21	1606/21	2205/21	2777/21	3305/21	3964/21	4565/21	5086/21	5781/2021	6300/2021	6923/2021
DATA	27/01/21	24/02/21	24/03/21	28/04/21	26/05/21	23/06/21	28/07/21	25/08/21	22/09/21	27/10/21	25/11/21	29/12/21
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	5,48	x	6,47	5,31	4,33	5,22	6,47	7,68	6,80	7,89	6,92	6,63
Oxigênio Dissolvido (%)	74,6	x	90,4	68,2	52,1	6,38	78,3	92,8	87,2	98,5	94	91,8
Temperatura	27,2	27	29,1	24,1	20,6	21,1	19,7	20,7	23,8	22,7	24,7	23,4
pH	x	x	7,30	6,82	7,24	7,26	6,41	7,77	8,19	7,59	7,91	8,00
Cor(mg Pt/L)	x	x	27,16	12,94	30,39	11,92	17,05	14,72	8,73	32,7	34,7	37,9
Turbidez(NTU)	x	x	3,20	1,92	2,69	1,59	1,41	1,60	1,76	2,54	2,91	3,50
Ferro(mg/L)	x	x	< 0,05	0,14	0,45	0,19	0,13	0,12	0,18	0,10	0,10	0,14
Manganês(mg/L)	x	x	0,062	0,049	0,068	0,047	< 0,010	0,039	0,224	0,035	0,023	0,055
Alcalinidade Parcial (mg/L)	x	x	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,00	< 5,00	< 5,0	< 5,0
Alcalinidade Total (mg/L)	x	x	9,6	11,02	11,93	11,27	11,0	13,23	10,69	11,19	11,01	10,0
Cloretos(mg/L)	x	x	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,00	< 5,00	< 5,00	< 5,0	< 5,00	< 5,0
Dureza(mg/L)	x	x	48	10,2	8,08	7,35	< 2,0	9,35	7,60	9,10	11,71	7,8
Oxigênio Consumido(mg/L)	x	x	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	1,26	< 1,00	1,31	1,23	< 1,0
Condutividade(uS/cm)	x	x	22,26	24,59	26,68	24,02	23,76	23,09	23,50	21,94	23,23	21,62
DBO5(mg/L)	x	x	x	x	< 12,0	< 12,0	< 12,0	< 12,0	< 12,0	< 12,0	< 12,0	x
Fosfato TOTAL (mg/L)	x	x	x	x	< 0,02	< 0,02	0,029	0,02	< 0,02	0,02	< 0,02	0,08
NitrogênioTOTAL(mg/L)	x	x	0,40	< 0,5	1,10	< 0,5	< 0,50	< 0,50	0,60	< 0,5	1,8	0,7
Sólidos dissolvidos totais(mg/L)	x	x	21,2	24,0	17,6	16,4	18,0	x	x	x	x	19,2
Nitrito (mg/L)	x	x	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	x	x	x	< 0,05	< 0,05
Nitrato (mg/L)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	1,13
Coliformes Totais(NMP/100mL)	x	x	517,2	>2419,6	>2419,6	> 2419,6	816,4	2419,6	1119,9	1732,9	x	x
Escherichia coli(NMP/100mL)	x	x	1,0	13,5	4,1	< 1	2,0	2,0	4,1	4,1	x	x
Cianobactérias(células/mL)	112478	148955	103236	27843	14748	8259	18287	46800	65481	188774	106972	100286

Fonte: Cesama (2022c)

ANEXO II – Usos Insignificantes de água na BCRC

Relação dos usos insignificantes de água na BCRC

Tipo de Uso	Modo de Uso	Vazão (L/s)	Finalidade do Uso	Tipo Consumo
Superficial	Captação em curso de água (rios, lagos naturais, etc)	0,70	Irrigação	Consuntivo
Superficial	Barramento sem captação para fins de regularização de vazão	0,00	Regularização de vazão	Não Consuntivo
Subterrânea	Captação de água em surgência (nascente)	0,08	Consumo humano, Paisagismo	Consuntivo
Subterrânea	Captação de água em surgência (nascente)	0,08	Consumo humano, Dessedentação de animais, Paisagismo	Consuntivo
Subterrânea	Captação de água em surgência (nascente)	0,83	Consumo humano, Irrigação	Consuntivo
Superficial	Captação em curso de água (rios, lagos naturais, etc)	0,90	Agricultura	Consuntivo
Superficial	Barramento sem captação para fins de regularização de vazão	0,00	Paisagismo	Não Consuntivo
Subterrânea	Captação de água em surgência (nascente)	0,27	Consumo humano	Consuntivo
Subterrânea	Captação de água em surgência (nascente)	0,07	Consumo humano	Consuntivo
Subterrânea	Captação de água em surgência (nascente)	0,03	Consumo humano	Consuntivo
Superficial	Captação em curso de água (rios, lagos naturais, etc)	0,12	Consumo humano, Dessedentação de animais	Consuntivo
Subterrânea	Captação de água em surgência (nascente)	0,08	Consumo humano	Consuntivo
Subterrânea	Captação de água subterrânea por meio de poço manual (cisternas)	0,55	Consumo humano	Consuntivo
Subterrânea	Captação de água subterrânea por meio de poço manual (cisternas)	0,01	Consumo humano	Consuntivo
Subterrânea	Captação de água em surgência (nascente)	0,00	Consumo humano	Consuntivo
Subterrânea	Captação de água subterrânea por meio de poço manual (cisternas)	0,00	Consumo humano	Consuntivo
Subterrânea	Captação de água em surgência (nascente)	0,00	Consumo humano	Consuntivo
Subterrânea	Captação de água em surgência (nascente)	0,00	Consumo humano	Consuntivo
Subterrânea	Captação de água em surgência (nascente)	0,00	Consumo humano	Consuntivo
Subterrânea	Captação de água em surgência (nascente)	0,10	Consumo industrial	Consuntivo
Subterrânea	Captação de água em surgência (nascente)	0,07	Consumo humano, Dessedentação de animais	Consuntivo
Superficial	Captação em curso de água (rios, lagos naturais, etc)	1,00	Consumo humano, Paisagismo	Consuntivo
Superficial	Captação em curso de água (rios, lagos naturais, etc)	1,00	Não Informado	Consuntivo
Subterrânea	Captação de água subterrânea por meio de poço manual (cisternas)	0,27	Consumo humano	Consuntivo
Subterrânea	Captação de água em surgência (nascente)	0,06	Consumo humano, Dessedentação de animais	Consuntivo

Superficial	Captação em curso de água (rios, lagos naturais, etc)	0,90	Consumo agroindustrial, Consumo industrial, Paisagismo	Consuntivo
Subterrânea	Captação de água subterrânea por meio de poço manual (cisternas)	0,03	Consumo humano	Consuntivo
Subterrânea	Captação de água em surgência (nascente)	0,27	Consumo humano	Consuntivo
Superficial	Captação em curso de água (rios, lagos naturais, etc)	1,00	Consumo humano, Dessedentação de animais	Consuntivo
Superficial	Captação em curso de água (rios, lagos naturais, etc)	0,40	Consumo industrial	Consuntivo
Soma		8,82		

Fonte: IDE-SISEMA (2023)

**ANEXO III – Série Histórica de Chuvas na Estação Pluviométrica da
ANA n° 2143020**

Série Histórica de Chuvas na Estação Pluviométrica da ANA nº 2143020

Ano	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Total
1950	128	265	117	226	17	19	14	0	53	84	466	215	1604
1951	388	283	273	164	12	8	18	11	1	70	117	248	1592
1952	404	424	331	109	5	58	19	15	85	203	170	441	2262
1953	105	310	294	114	85	0	0	0	62	109	304	225	1607
1954	115	162	97	60	112	4	2	0	6	90	142	191	980
1955	345	47	222	49	73	23	0	0	3	129	154	388	1433
1956	186	168	234	56	83	19	52	63	128	83	74	395	1540
1957	170	230	274	120	33	6	23	3	132	57	170	350	1568
1958	183	173	145	115	104	24	32	21	111	163	151	279	1503
1959	289	163	283	11	0	0	0	28	2	94	355	125	1350
1960	298	373	441	15	40	48	5	48	47	55	166	243	1779
1961	869	405	544	92	11	14	10	0	3	38	225	229	2440
1962	328	362	95	125	17	10	2	2	23	145	200	437	1745
1963	127	306	39	20	0	0	0	6	0	58	155	66	775
1964	320	389	51	53	31	24	17	4	19	280	108	311	1606
1965	413	347	116	110	84	27	20	30	45	163	120	110	1587
1966	515	100	140	83	98	1	7	10	11	84	350	302	1701
1967	345	218	203	51	2	19	0	0	19	37	343	166	1402
1968	177	133	123	26	9	0	2	35	82	134	37	278	1035
1969	402	173	170	56	9	75	16	26	32	115	202	381	1655
1970	167	80	64	167	3	23	20	49	52	121	163	203	1111
1971	108	65	92	35	23	82	0	21	32	113	294	295	1159
1972	158	278	174	62	59	0	49	31	61	109	196	324	1501
1973	244	152	253	137	32	42	0	26	31	158	168	283	1524
1974	316	59	401	114	2	110	0	12	0	194	148	358	1715
1975	371	240	35	107	42	23	26	0	46	189	397	169	1644
1976	167	237	118	44	80	19	66	74	153	309	191	338	1795

1977	207	0	180	72	18	2	22	6	160	90	324	248	1329
1978	219	161	212	57	72	12	39	11	33	162	243	230	1449
1979	278	554	142	47	45	0	23	67	53	39	319	386	1953
1980	391	176	58	173	7	57	4	42	37	101	157	346	1548
1981	262	163	320	30	20	30	0	37	63	203	353	243	1723
1982	378	153	470	33	11	28	18	23	8	246	275	589	2233
1983	756	276	191	198	146	182	39	0	390	95	139	339	2750
1984	282	15	189	44	68	5	9	37	56	101	235	219	1261
1985	588	405	507	51	25	0	0	15	99	52	308	244	2293
1986	327	292	232	55	10	27	57	116	28	20	147	555	1866
1987	414	220	143	133	52	24	36	2	123	132	162	300	1739
1988	288	511	112	78	65	16	0	0	24	129	238	224	1685
1989	240	386	160	38	9	39	9	10	53	162	151	244	1500
1990	173	156	268	119	56	0	16	17	65	17	135	53	1075
1991	343	110	138	78	14	6	13	1	101	73	96	138	1111
1992	202	54	23	19	13	0	7	1	35	98	62	220	734
1993	183	94	140	43	19	15	0	9	30	41	65	68	706
1994	122	45	87	59	52	6	5	0	2	128	215	163	882
1995	213	188	73	51	87	8	14	0	25	202	151	463	1473
1996	452	290	281	79	25	5	8	39	118	163	149	289	1898
1997	370	102	126	31	9	6	0	6	42	137	175	193	1198
1998	301	227	128	33	64	9	3	45	17	143	242	193	1406
1999	245	164	293	53	0	10	7	2	19	23	64	144	1024
2000	344	116	252	59	7	2	8	55	121	83	185	193	1425
2001	120	177	147	27	50	1	2	7	67	119	348	280	1344
2002	283	325	106	13	36	0	4	30	114	102	230	357	1599
2003	534	33	178	59	43	55	88	39	55	149	210	301	1742
2004	295	405	221	204	33	26	49	0	5	107	214	365	1923
2005	293	219	258	106	68	24	19	3	73	54	137	345	1600
2006	264	251	279	14	46	1	12	24	43	130	448	201	1712

2007	588	25	109	42	24	12	4	3	13	137	181	233	1369
2008	302	257	98	186	2	19		14	85	156	220	457	1796
2009	226	372	155	46	32	29	17	14	52	121	196	269	1531
2010	322	68	350	129	39	0	28	2	39	69	240	319	1604
2011	296	84	243	138	8	24	7	6	3	105	245	395	1553
2012	416	66	138	89	81	35	2	5	37	52	251	93	1264
2013	437	117	260	73	41	44	97	24	72	69	183	435	1849
2014	83	109	82	138	11	17	18	10	12	60	227	101	867
2015	86	192	227	5	12	28	25	0	123	94	178	324	1294
2016	226	233	211	19	3	29	0	14		31	119	126	1009
2017	126	4	162	72	39	17	8	11	6	57	90	161	753
2018	181	383	206	142	2	4	15	71	94	112	226	140	1576
2019	150	239	92	85	77	9	1	3	42	160	306	262	1425
2020	316	305	149	54	21	25	2	6	33	314	216	408	1849
2021	180	292	117	107	5	5	0	85	97	314	201	349	1752
Média	291	210	192	79	36	22	16	20	56	119	206	272	1521

Fonte: ANA (2022a).

**APÊNDICE I – Metodologia de Mapeamento do Uso e Ocupação do Solo
de 2015 e 2021**

➤ Mapeamento do Uso e Ocupação do Solo de 2015

Para gerar o mapeamento do ano de 2015, foram utilizadas as imagens LANDSAT-8, disponíveis no site USGS – Science for a Changing World². Diferentemente das imagens do CBERS 4A, que tem uma resolução de 2 metros, as imagens LANDSAT-8 são ortocodificadas e oriundas dos sensores OLI (Operational Terra Imager) e TIRS (Thermal Infrared Sensor) com resolução de 15 a 30 metros.

Foram utilizadas as bandas 4, 6 e 7 para gerar o mapa de uso e ocupação do solo. Elas foram adicionadas no QGIS, sendo escolhido o sistema de coordenadas UTM e o Datum SIRGAS 2000 para as imagens. Elas foram recortadas por meio da ferramenta *recortar raster pela camada de máscara* por meio do shapefile da bacia hidrográfica da represa Chapéu D’Uvas. Posteriormente, foi instalado o complemento do QGIS 3.22, denominado *semi-automatic classification tool*, para realizar a classificação supervisionada. Dentro desse complemento, foi selecionada a ferramenta *band set* que adiciona as bandas 4, 6 e 7 dentro dessa ferramenta *semi-automatic classification tool*. Em seguida, foi realizada a mesclagem dessas bandas na sequência de bandas 7, 6 e 4 por meio da ferramenta *mesclar*. Nas propriedades da camada, dentro de simbologia, foi alterada a renderização das bandas para falsa-cor. Dentro dos painéis, foi adicionada a ferramenta *SCP dock*. Em *Training Input*, foi criado o vetor de “amostras_uso_solo”, sendo nomeados os 6 tipos de amostras de uso e ocupação do solo. Na imagem mesclada das bandas, foram selecionados 10 polígonos de cada tipo de amostra de uso do solo. Depois, foi calculada a média dessas amostras na ferramenta *SCP dock e merge*. Em seguida, na ferramenta *semi-automatic classification tool*, na sequência *band processing e classification*, foi selecionado o algoritmo *maximum likelihood* e foi colocado pra rodar e salvo o arquivo raster final da classificação de uso e ocupação do solo.

Como as imagens LANDSAT-8 tem uma resolução de 15 a 30 metros, foi necessário corrigir algumas áreas do uso e ocupação do solo que tiveram seu mapeamento automático condicionado a um tipo de uso do solo e, ao comparar com imagens do Google Earth Pro de 2015, correspondia a outro uso do solo. Dessa forma, o raster da classificação foi transformado em arquivo shapefile e, na barra de ferramentas de vetorização avançada, foram feitas manualmente essas correções até obter a classificação final do uso e ocupação do solo de 2015.

➤ Mapeamento do Uso e Ocupação do Solo de 2021

Primeiramente, foi feito o download das imagens do CBERS 4A, WPM L4 DN do dia 25/08/2021 no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)³. Em seguida, as imagens das bandas 0, 1, 2, 3 e 4 foram adicionadas no QGIS, sendo escolhido o sistema de coordenadas UTM e o Datum SIRGAS 2000 para as imagens. Elas foram recortadas por meio da ferramenta “recortar raster pela camada de máscara” por meio do shapefile da bacia hidrográfica da represa Chapéu D’Uvas. Foi realizada a mesclagem das bandas 1, 2, 3 e 4 por meio da ferramenta “mesclar”. Foi usada a banda 0, que é pancromática, para obter por meio da fusão a resolução espacial de 2 metros. Para isso, utilizou-se a ferramenta *pansharpening* na Miscelânea do Raster, colocando no conjunto de dados espectral a mesclagem realizada anteriormente e no conjunto de dados pancromáticos o *raster* da banda 0. Depois, foi criado um shapefile das amostras das 6 classes de uso do solo. Foram coletadas 120 amostras, sendo 20 amostras de cada classe de uso do solo. Foi instalado o complemento do QGIS 3.22 denominado *dzetsaka* para realizar a classificação supervisionada, dentro do complemento importado, foi escolhido o *classification dock*, sendo adicionada a camada de fusão na classificação e o arquivo vetorial shapefile das amostras de classes. Por fim, a ferramenta gerou um outro arquivo raster com a classificação final da imagem. Em seguida, para avaliar a qualidade da classificação do mapa, foi realizada uma avaliação da acurácia do mapeamento utilizando a matriz de confusão. Foram coletadas outras 120 amostras de usos do solo em diferentes locais das imagens, por meio do vetor denominado de “verdade de campo”. Esse vetor foi transformado em raster e foi empregada a ferramenta do índice Kappa para verificar a exatidão do mapeamento, conforme demonstra a Tabela I. Foi obtido um coeficiente Kappa igual a 0,82, e esse resultado indica uma excelente performance de classificação, conforme os aspectos metodológicos da relação do coeficiente Kappa e a qualidade das imagens do CBERS 4A.

³INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (2022). Divisão de geração de imagens. Disponível em: <http://www2.dgi.inpe.br/catalogo/explore>. Acesso em: 09 set. 2022.

Tabela I: Índice Kappa

Coeficiente Kappa	Qualidade da classificação
< 0	Péssima
0 - 0,2	Ruim
0,21 - 0,4	Razoável
0,41 - 0,6	Boa
0,61 - 0,8	Muito boa
0,81 - 1,0	Excelente

Fonte: Landis JR, Koch (1977)