

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

IGOR DE OLIVEIRA MACHADO

**DIAGNÓSTICO DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA NA ZONA URBANA DO
MUNICÍPIO DE MACAÉ - RJ**

Macaé

2021

IGOR DE OLIVEIRA MACHADO

DIAGNÓSTICO DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA NA ZONA URBANA DO MUNICÍPIO
DE MACAÉ - RJ

Trabalho de Conclusão de Curso de
graduação submetida à Universidade
Federal do Rio de Janeiro – Campus
Macaé como parte dos requisitos
necessários à obtenção do grau de
bacharel em Engenharia Civil.

Orientador(es):

Prof. D.Sc. Rafael Malheiro da Silva do Amaral Ferreira

Prof. D.Sc. Francisco Martins Teixeira

Macaé

2021

CIP - Catalogação na Publicação

M149

Machado, Igor

Diagnóstico do abastecimento de água na zona urbana do município de Macaé - RJ / Igor Machado - Macaé, 2022.
47 f.

Orientador(a): Rafael Amaral.

Coorientador(a): Francisco Teixeira.

Trabalho de conclusão de curso (graduação) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto Politécnico, Bacharel em Engenharia Civil, 2022.

1. Abastecimento de água (Macaé, RJ). 2. Abastecimento de água – diagnóstico.
3. Disponibilidade hídrica. I. Amaral, Rafael, orient. II. Teixeira, Francisco, coorient.
III. Título.

CDD 628.1

IGOR DE OLIVEIRA MACHADO

DIAGNÓSTICO DO ABASTECIMENTO DE ÁGUA NA ZONA URBANA DO MUNICÍPIO
DE MACAÉ - RJ

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação submetida à Universidade Federal do Rio de Janeiro – Campus Macaé como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em Macaé, 21 de janeiro de 2022.

BANCA EXAMINADORA:

Professor Rafael Malheiro da Silva do Amaral Ferreira, Doutor (UFRJ)

Professor Francisco Martins Teixeira, Doutor (UFRJ)

Professora Raquel J. Lobosco, Doutora (UFRJ)

Professora Elisa Rocha, Doutora (UFRJ)

A Deus.

Aos meus pais, mestres e a todos os colaboradores que me auxiliaram, com carinho dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus em primeiro lugar e a minha mãe e avó, que sempre acreditaram em mim, nunca mediram esforços para realizar meus sonhos e sempre vibraram pelas minhas conquistas.

Aos meus professores da Universidade, por todo conhecimento passado nesses anos de aprendizado, camaradagem e convívio.

RESUMO

Diferentes regiões do mundo têm visto inúmeras discussões sobre o recurso natural hídrico, tanto na esfera ambiental quanto sócio-econômica e política, entre outras. No entanto, a preocupação representada pelo crescimento populacional e as ameaças representadas pelas mudanças climáticas gera um debate comum em diferentes escalas em todo o mundo. Portanto, é necessário repensar o planejamento e a gestão dos recursos hídricos, para que estes continuem sendo fornecidos de maneira adequada para a sociedade. Além disso, o aumento do consumo desse recurso natural para outros fins que não seja o abastecimento da sociedade para consumo direto, como a geração de energia, agricultura, setores de construção e mineração, agropecuária. O objetivo deste trabalho foi avaliar o volume captado, o destino e as condições do Rio Macaé para atender à demanda futura de água, por meio de estudos de caso comparativos entre as empresas que fornecem serviço de abastecimento de água e coleta de esgoto (CEDAE e BRK - Ambiental) e os estudos hidrológicos de vazões mínimas de seca, para compreender o impacto nesses serviços com o cenário de crescimento da cidade de Macaé-RJ. Nos próximos 10 anos, está previsto que Macaé tenha oito termelétricas em operação que vão gerar eletricidade a partir do gás natural. Com isso, estudaremos a disponibilidade hidrológica do Rio Macaé em relação às suas vazões e seus usos sociais, com o objetivo de entender como os diversos usos e demandas associados aos recursos hídricos que serão representados pelos índices adotados, podendo causar conflitos diante de possíveis quadros de escassez hídrica. Pode-se concluir que a demanda pelo abastecimento da cidade de Macaé está crescendo e a capacidade do rio Macaé ainda está adequada, entretanto, considerando a construção de novas termelétricas, uma análise mais minuciosa é requerida e a demanda crescente das cidades vizinhas que fazem uso dessa água, também requer uma análise individual desses sistemas para agregar ao uso consuntivo disponível do rio Macaé. Além dos resultados hidrológicos obtidos, uma abordagem mais cautelosa é recomendada para avaliar de forma abrangente a capacidade de serviço dos recursos fluviais do Rio Macaé, assim como, estudos sobre a conservação do rio, como recuperação das margens e das nascentes.

Palavras-chave: Rio Macaé. CEDAE. Recursos Hídricos. BRK-Ambiental. Capacidade Hídrica.

ABSTRACT

Different regions of the world have seen countless discussions about the natural water resource, both in the environmental, socio-economic and political spheres, among others. However, the concern posed by population growth and the threats posed by climate change generates a common debate at different scales across the world. Therefore, it is necessary to rethink the planning and management of water resources, so that they continue to be provided in an adequate manner to society. In addition, the increased consumption of this natural resource for purposes other than supplying society for direct consumption, such as energy generation, agriculture, construction and mining sectors, agriculture and livestock. The objective of this work was to evaluate the abstracted volume, destination and conditions of the Macaé River to meet the future demand for water, through comparative case studies between companies that provide water supply and sewage collection services (CEDAE and BRK - Ambiental) and hydrological studies of minimum drought flows, to understand the impact on these services with the growth scenario of the city of Macaé-RJ. In the next 10 years, Macaé is expected to have eight thermoelectric plants in operation that will generate electricity from natural gas. Thus, we will study the hydrological availability of the Macaé River in relation to its outflows and its social uses, in order to understand how the various uses and demands associated with water resources that will be represented by the adopted indices, which may cause conflicts in face of possible scenarios of water scarcity. It can be concluded that the demand for the supply of the city of Macaé is growing and the capacity of the Macaé River is still adequate, however, considering the construction of new thermoelectric plants, a more detailed analysis is required and the growing demand from neighboring cities that make use of it. of this water, also requires an individual analysis of these systems to add to the available consumptive use of the Macaé River. In addition to the hydrological results obtained, a more cautious approach is recommended to comprehensively assess the service capacity of the Macaé River's fluvial resources, as well as studies on river conservation, such as recovery of banks and springs.

Key words: Macaé River. CEDAE. Water resources. BRK-Environmental. Water Capacity.

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Atividades econômicas de Macaé.	31
Gráfico 2: Captação anual.	33
Gráfico 3: Volume medido.	43
Gráfico 4: Volume captado anualmente.	39
Gráfico 5: Estimativa de captação anual.	39
Gráfico 6: Volume captado e medido.	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Usos da água.	16
Tabela 2: Vazões de referência.	26
Tabela 3: Consumo e volume medido.	27
Tabela 4: Número de ligações.	37
Tabela 5: Captação e volume de referência.	39
Tabela 6: Volume medido 2015 a 2017	39
Tabela 7: Volume medido 2018 a 2020	40
Tabela 8:	41

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional das Águas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CEDAE	Companhia Estadual de Águas e Esgoto
CNARH	Cadastro Nacional de Usuários de Recurso Hídricos
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IEMA	Instituto de Energia e Meio Ambiente
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
ONS	Operador Nacional do Sistema
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
SIN	Sistema Interligado Nacional
UTE	Usina Termelétrica
PDH	Plano de Recursos Hídricos
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
	1.1 Contextualização	
	1.2 Justificativa	12
	1.3 Objetivos	12
	1.3.1 Objetivos específicos	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
	2.1 Usos da água	15
	2.1.1 Impacto do abastecimento de água na saúde e na economia	16
	2.2 Estrutura do Sistema de Abastecimento de Água	17
	2.3 Fonte de captação e aspectos hidrológicos	21
	2.3.1 Determinação e previsão dos recursos hídricos	21
	2.4 Disponibilidade hídrica do rio Macaé	22
	2.5 Perdas de Água	26
3	METODOLOGIA	29
	3.1 Características da área de estudo	29
	3.1.1 Atividade econômicas	30
	3.2 Coleta de dados	31
	3.2.1 Relatórios documental CEDAE	32
	3.3 Vazão da bacia do rio Macaé	33
	3.4 Relatórios documentais BRK-Ambiental	34
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
	4.1 Diagnóstico do sistema de abastecimento urbano	36
	4.2 Diagnóstico do sistema de captação de água	38
5	CONCLUSÃO	41
	5.1 Recomendações	43
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), higiene é o controle de todos os elementos do ambiente físico do ser humano que afetam ou podem causar danos ao bem-estar físico, mental e social. A Organização Mundial da Saúde também define a saúde como o estado de completo bem-estar dos três fatores mencionados, e não apenas a ausência de doença. Essas e outras definições foram desenvolvidas com a finalidade conceitual de "saneamento" especificando que se trata de um conjunto de ações com respeito ao meio físico, controlando assim o meio ambiente, cujo objetivo é proteger a saúde humana e a preservação dos recursos naturais.

A água é essencial para a dinâmica da natureza, presente em todos os ciclos biogeoquímicos, necessária para a diversidade biológica, sendo o recurso natural mais importante disponível na Terra. Sem a existência da água, a vida na Terra seria impraticável (TUNDISI, 2003).

Dentre os diversos usos da água, nos termos da Lei 9433/1997 da Política Nacional dos Recursos Hídricos (BRASIL, 1997), estão os usos para geração de energia, como em hidrelétricas e, em termelétricas, usadas principalmente em sistemas de refrigeração. Além disso, a água é necessária durante a produção, transporte e processamento de combustíveis fósseis e é usada na irrigação das plantações para produzir biomassa para energia (ANA, 2020). A urbanização rápida e invasiva nas últimas décadas, causada pelo crescimento populacional e aumento do êxodo rural, contribuiu para o esgotamento de recursos naturais, como vegetação e recursos hídricos (RAMACHANDRA et al., 2014). Ao mesmo tempo, a urbanização como a que ocorre e tende a comprometer a capacidade dos gestores de atender a demanda de serviços básicos, como saneamento (WATSON, 2009) e, portanto, o abastecimento público de água é um aspecto importante do saneamento.

O abastecimento de água em uma comunidade é geralmente incluindo a interligação do sistema de abastecimento de água, soluções individuais e alternativas (BRASIL, 2004). Portanto, o alinhamento de alternativas é de extrema importância para garantir o abastecimento de água para toda a população e para a manutenção da saúde pública (HELLER, 2006). No Brasil, 83,7% da

população em áreas urbanas é atendida com cobertura de redes de água potável e 54% com redes de esgotamento sanitário. As coberturas de redes de água e de esgoto tiveram crescimento entre 2018 e 2019, é o que mostram os relatórios do Diagnósticos de Prestação dos Serviços de Saneamento Básico de 2019 do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNISS, 2019). O diagnóstico é feito com base em informações de 10.229 empresas de água, esgotos, manejo de resíduos sólidos urbanos e drenagem e manejo de águas pluviais de todo o Brasil.

A alocação dos serviços de água é de competência do Município, podendo ser delegada a empresas públicas e privadas ou até grupos intermunicipais. Em Macaé no ano de 2020, 243 mil habitantes possuíam serviço de água, sendo a empresa responsável pelo abastecimento a Companhia Estadual de Águas e Esgoto (CEDAE, 2020), enquanto a empresa BRK-Ambiental (BRK-2021) é responsável pelo serviço de esgotamento e controle do volume medido de água

Apesar dos grandes avanços no acesso universal à água nas últimas décadas, o mesmo não conseguiu reproduzir esforços semelhantes para monitorar e manter o sistema de abastecimento de água, resultando em uma falta de cobertura de prestação de serviços.

1.2 Justificativa

Tendo em conta as informações apresentadas, este trabalho tem como objetivo esclarecer e discutir os desafios da gestão do recurso hídrico, da real demanda e consumo social e comercial por esse recurso natural, tendo em conta a necessidade de estabelecer documentos consultivos destinados a melhorar a percepção e diagnosticar cenários macros do uso desse recurso. Desta forma, pretende-se contribuir com os aspectos interpretativos da relação aplicada ao contexto do rio Macaé, identificando as restrições e permissões concedidas e apresentando uma abordagem mais integrada entre as áreas interdisciplinares.

Diante do exposto, este trabalho foi realizado de forma a diagnosticar a rede de abastecimento de água do município de Macaé, com o objetivo de gerar uma visão da cadeia de abastecimento e a demanda por esse recurso.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo geral deste estudo foi avaliar o sistema de abastecimento de água da cidade e a capacidade do Rio Macaé em atender a futura demanda hídrica de Macaé-RJ a fim de criar suporte técnico e conhecimentos sobre a atual situação da demanda populacional e da disponibilidade desse recurso na região.

1.3.1 Objetivos específicos:

- Realizar uma análise comparativa entre a oferta (Rio Macaé) e a demanda hídrica;
- Avaliar os índices de perdas na distribuição de água;
- Estimar o total da vazão demandada para abastecimento da cidade e outros usos importantes do manancial;
- Estimar as vazões mínimas extremas do Rio Macaé e seu comprometimento com o aumento da demanda;
- Estimar os cenários mais críticos de vazão no Rio Macaé utilizando métodos de hidrologia estatística.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 USOS DA ÁGUA.

Instituída pela lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que passou a ser a lei das águas, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) instituiu instrumentos de gestão de recursos hídricos federais (aqueles que atravessam mais de um estado ou fazem fronteira) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH).

Conhecida pelo seu caráter descentralizado, pela criação de um sistema nacional integrando a União e os Estados, e pela inovação participativa com a criação de comissões de bacias que unem as instituições e poderes públicos nos três órgãos, usuários e sociedade civil da água gestão de recursos, o PNRH é considerado uma lei moderna que tem facilitado a identificação de conflitos pelo uso da água, por meio do planejamento dos recursos hídricos da bacia e da mediação de conflitos na esfera administrativa. A Lei nº 9.433/97 deu maior abrangência ao Código de Águas de 1934, que continha decisões centralizadas relacionadas à gestão dos recursos hídricos no setor elétrico. Ao estabelecer uma base que respeita os usos múltiplos e é a fonte preferida de abastecimento de água para humanos e animais em caso de escassez de água, a Lei da Água deu um novo passo importante ao democratizar a gestão dos recursos hídricos.

A água produzida e fornecida por sistemas ou soluções de abastecimento de água pode ter diferentes finalidades, tais como: Usos urbanos que vão além dos usos domésticos da água e a consomem de diversas formas, como em combate a incêndios, sistemas de refrigeração e ar-condicionado, limpeza de veículos, de vias e de prédios, entre outros.

O setor agrícola é responsável pelo uso de 70% dos recursos hídricos, no Brasil esse valor chega a 72% (ONU, 2015). Além do alto consumo e desperdício, a agricultura também afeta a qualidade da água e dos solos devido ao uso indiscriminado de agrotóxicos e fertilizantes, colocando em risco os mananciais e seus efluentes. Depois do setor agrícola, as atividades industriais são as que mais utilizam o recurso: são responsáveis por 22% do consumo total de água no Brasil. O uso nos processos industriais vai desde a incorporação da água nos produtos, como matéria-prima, até a geração de energia e a limpeza e o resfriamento de equipamentos e instalações.

A Tabela 1 apresentada abaixo discrimina o uso detalhado da água.

Agrupamento de consumo	Necessidades
Consumo doméstico	Ingestão
	Preparo de alimentos Higlene da moradia
	Limpeza dos utensilios
	Lavagem de roupas Descarga de vasos sanitários
	Lavagem de veiculos
	Imigação de jardins, hortas e pomares domiciliares
	Criação de animais de estimação
Uso Comercial	Suprimento a estabelecimentos diversos
	Postos de combustivels, clubes e hospitais
	Lavanderias, bares, restaurantes, hotels
Uso Industrial	Suprimento a estabelecimentos localizados no interior da área urbana que incorporam água no produto ou que necessitam de grande quantidade de água para limpeza, Indústria de bebidas laticínios, matadouros e frigoríficos, curtumes, indústria textil
	Imigação de jardins, canteiros e praças
	Lavagem de ruas e espaços públicos em geral
Uso Público	Alimentação de fontes
	Limpezas de boca de lobo, galerias de águas pluviais e coletores de esgotos Abastecimento de edificios públicos incluindo hospitais, portos, aeroportos, terminals etc
	Combate a incêndio

Tabela 1: Usos de água. FONTE: Heller e Padua et al, 2006.

Segundo Heller e Padua et al, 2006, também é possível dividir os diferentes usos e benefícios da água em categorias que permitem uma melhor priorização do uso da água. A categoria mais importante seria os usos relacionados à proteção da saúde humana, como digestão e saneamento, onde os requisitos de qualidade da água são essenciais. Existem também usos relacionados ao preparo de alimentos, usos para atividades econômicas e usos que visam aumentar o conforto humano, a satisfação estética e cultural e manter os espaços públicos e rurais.

2.1.1 Impacto do abastecimento de água na saúde e na economia

A importância da disponibilidade de água com relação ao bem estar também se verifica na economia, considerando que investimentos em abastecimento e tratamento de água e esgoto diminuem o número de internações e gastos decorrentes de doenças associadas à falta de saneamento (MENDONÇA;

MOTTA, 2005). A má governança ainda afeta o desenvolvimento econômico e social de qualquer região. O Instituto Trata Brasil mostra em seu trabalho algumas das vantagens econômicas dos serviços de água e esgotamento suficientes que podem ajudar a sociedade, já que o SUS gasta US \$17 milhões anuais apenas em internações hospitalares devido a doenças gastrointestinais.

O abastecimento também tem impacto indireto na economia, pois aumenta a expectativa de vida, reduz a jornada de trabalho perdida por doenças por conta da água contaminada, que deveria ser potável, e também facilita o desenvolvimento da indústria e a promoção do turismo na região (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2017). Portanto, o abastecimento de água está claramente correlacionado com o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), o que se explica pelo cálculo do índice que leva em consideração, além das estatísticas de renda e educação, a expectativa de vida ao nascer e a longevidade, esses indicadores estão relacionados ao serviço de abastecimento de água e a sua qualidade (LIBÂNIO et al. 2005).

2.2 Estrutura do Sistema de Abastecimento de Água

A captação da água "bruta", ou seja, extraída diretamente do meio ambiente, constitui a primeira etapa do Sistema de Abastecimento de Água, é seguida de uma etapa de tratamento adaptada, para torná-la potável. Por fim, é distribuído aos consumidores em quantidade suficiente para atender às suas necessidades de consumo. O sistema pode ser dimensionado para pequenas populações ou para grandes municípios, de acordo com as necessidades locais.

De acordo com Azevedo Netto et al. (1998), O sistema de abastecimento de água compreende um conjunto de obras, equipamentos e serviços de abastecimento de água potável à comunidade para consumo doméstico, serviços públicos e consumo industrial e para outros fins. Este sistema é composto por várias etapas até que a água chegue às torneiras de consumo.

No âmbito do abastecimento de água, é ainda possível propor soluções alternativas de abastecimento, destinadas a comunidades que não se enquadram no conceito de sistema de abastecimento de água, como é o caso do abastecimento de água a veículos, indústrias, comércios e entre outros. No que se refere aos sistemas e alternativas de abastecimento de água, é importante ressaltar que o

abastecimento de água a população e a dessedentação animal, em qualquer caso, é de responsabilidade do município, mesmo que seja repassado a outro órgão.

Um sistema de abastecimento de água (SAA) é geralmente composto por seis elementos. No entanto, os projetos não precisam ser, e nem todos os componentes estarão presentes em todos os sistemas de abastecimento. Um exemplo é o caso em que as condições topográficas do terreno são favoráveis ou não a demandarem um sistema de recalque ou a água do manancial ser possível ao consumo sem a necessidade de alguma das etapas descritas.

- **Captação:** é um conjunto de estruturas e dispositivos, fabricados ou montados próximos a uma nascente, para drenar a água destinada a um sistema de abastecimento. A água bruta é retirada da superfície de mananciais, barragens, lago ou subterrâneo (poço).
- **Estação Elevatória:** é um booster ou sistema de elevação que consiste em um conjunto de tubos, conexões, bombas e motores

necessários para transportar uma certa quantidade de fluxo do tanque inferior

para o tanque de armazenamento superior. Em geral, é composto por três partes, a saber:

Tubulação de sucção: canalização que liga o reservatório inferior à bomba.

Conjunto elevatório: constituído por uma ou mais bombas e respectivos motores.

Tubulação de recalque: canalização que liga a bomba ao reservatório superior.

- **Adução:** é um conjunto de canalizações do sistema de abastecimento e destinado a conduzir água entre unidades que precedem a rede de distribuição. Não distribuem a água aos consumidores, mas podem existir derivações que são as subadutoras. Quanto à natureza da água transportada, as adutoras podem ser classificadas em adutoras de água bruta e adutoras de água tratada

Segundo Tsutiya (2006), sob o ponto de vista hidráulico, existem os seguintes tipos de adutoras por gravidade que transportam a água de uma cota mais elevada para a cota mais baixa. Adutoras por recalque que transportam a água de um ponto a outro com cota mais elevada, através de uma estação

elevatória e por fim adutoras mistas que há trechos por gravidade e trechos por recalque.

- **Tratamento:** Por meio de uma série de processos químicos e físicos a água bruta é tornada potável para ser distribuída à população.

Coagulação: quando a água na sua forma natural (bruta) entra na estação de tratamento de água (ETA), ela recebe nos tanques uma determinada quantidade de sulfato de alumínio. Esta substância serve para aglomerar partículas sólidas que se encontram na água, como por exemplo a argila.

Floculação: em tanques de concreto com a água em movimento, as partículas sólidas se aglutinam em flocos maiores.

Decantação: em outros tanques, por ação da gravidade, os flocos com as impurezas e partículas ficam depositados no fundo dos tanques, separando-se da água.

Filtração: a água passa por filtros formados por carvão, areia e pedras de diversos tamanhos. Nesta etapa, as impurezas de tamanho pequeno ficam retidas no filtro.

Desinfecção: é aplicado na água cloro ou ozônio para eliminar micro-organismos causadores de doenças.

Fluoretação: é aplicado flúor na água para prevenir a formação de cárie dentária em crianças.

Correção de PH: é aplicada na água uma certa quantidade de cal hidratada ou carbonato de sódio. Esse procedimento serve para corrigir o PH da água e preservar a rede de encanamentos de distribuição.

- **Armazenamento:** após o tratamento, a água é bombeada para tanques de armazenamento para abastecimento da rede de distribuição.
- **Distribuição:** constitui a parte final do sistema, em que a água é efetivamente fornecida ao consumidor, pronta para ser consumida. Na rede de distribuição existem dois tipos de conduítes:

Os conduítes principais são tubos de maior diâmetro, sendo que é responsável pelo abastecimento dos conduítes auxiliares e está disposto em diferentes configurações, tais como, ramais, ponto de tricô e redes mistas. Os conduítes secundários de menor diâmetro abastecem os consumidores atendidos pelo sistema. A Figura 1 abaixo ilustra um modelo do sistema de abastecimento de uma cidade.

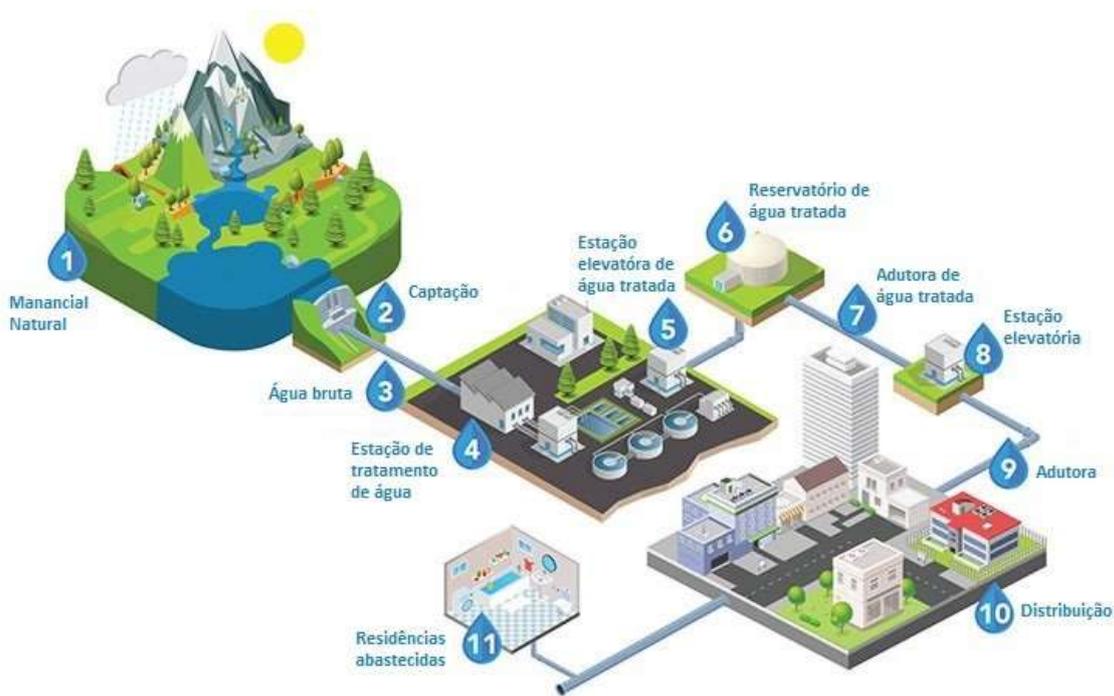


Figura 1 - Sistema de tratamento e abastecimento de água. FONTE: Alfacomp (2022).

Barros (1995) enfatiza que o abastecimento público de água deve garantir que a qualidade da água seja tratada dessa forma, respeitando os seguintes índices:

- Atender aos padrões de qualidade exigidos no anexo XX da Portaria de Consolidação N° 5, ou PCR N° 5, de 28 de setembro de 2017, que estabelece os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Sendo as seguintes definições para água potável:

II – Água potável: água que atenda ao padrão de potabilidade estabelecido nesta Portaria e que não ofereça riscos à saúde;

III – Padrão de potabilidade: conjunto de valores permitidos como parâmetro da qualidade da água para consumo humano, conforme definido nesta Portaria;

Deste modo, para que a água seja considerada potável, deve-se atender aos padrões estabelecidos para parâmetros físicos (Cor e Turbidez), químicos (Cloro Livre e pH), microbiológicos (Contagem de Bactérias Heterotróficas, Coliformes Totais e Escherichia coli), organolépticos (Sabor, Odor e Aspecto), cianobactérias/ciano toxinas e radioatividade.

- Prevenir o ataque de doenças de veiculação hídrica,

protege a saúde humana.

- Tornar a água limpa para serviços domésticos.

- Prevenir a cárie dentária em crianças

por meio de fluoretação.

- Proteger o sistema de abastecimento de água, principalmente as tubulações e os acessórios da rede de distribuição, dos efeitos nocivos da corrosão e de partículas depositadas no interior das tubulações.

2.3 Fonte de captação e aspectos hidrológicos

Para atender às necessidades periódicas de abastecimento de água de uma cidade, é imprescindível a existência de reservatórios ou fontes de captação contínua. As instalações de reservatórios para abastecimento de água podem ser caras para muitos projetos de abastecimento de água urbano, mas são essenciais para garantir um abastecimento contínuo, mesmo em épocas de seca. O grande problema é que os reservatórios muitas vezes exigem o custo de aquisição de grandes áreas e deslocamento de população, o que pode levar a perdas econômicas devido à interrupção da produção, além de um processo de autorização ambiental muitas vezes caro e complexo. Extrair água diretamente das fontes é muito mais barato, mas o sistema é vulnerável à disponibilidade de água na natureza (SOUZA, 2016).

Outro fator importante a se considerar em um sistema de abastecimento de água é a segurança dos tanques de armazenamento. Por exemplo, uma seca severa em uma bacia artificial poderia impossibilitar o abastecimento de toda a cidade por um longo período, com graves consequências (SOUZA, 2016).

2.3.1 Determinação e previsão dos recursos hídricos

Ao se buscar a previsão de uma variável hidrológica em um sistema hídrico, deve-se levar em consideração a estimativa preditiva dessa variável ao longo do tempo. Nesse sentido, agora existem vários avisos de inundação para uma cidade ou dados de fluxo para operar uma barragem. É difícil prever com antecedência, mas é possível estimar o risco de ocorrência de uma variável

hidrológica. Além disso, TUCCI (1991) especifica que é possível prever quando ocorrerá uma enchente em termos estatísticos, portanto com base na ocorrência de fluxos passados permitindo o estabelecimento de vazão máxima para riscos selecionados, mas não especificado.

O modelo estocástico que contribui para esta previsão pode ser realizado gerando sequências hidrológicas e suas interações estatísticas ao longo do tempo do passado para prever o futuro. Nesse contexto, na ausência de correlação entre os valores das séries, a previsão sazonal seria igual ao valor médio de um longo período de meses (TUCCI, 2010).

Deve-se notar que os fenômenos hidrológicos apresentam variações no espaço e no tempo, que não podem ser explicadas pelas relações apenas determinísticas, pois possuem componentes aleatórios muito correlacionados. Portanto, para prever eventos de longo prazo, o uso de estatísticas matemáticas e o estudo de processos estocásticos é rotina. A estatística matemática com a finalidade de utilizar a teoria da probabilidade, a partir de um período limitado de observações sobre um fenômeno aleatório, e para prever suas possíveis ocorrências futuras (NAGHETTINI); PINTO, 2007).

Nesse sentido, não se trata de uma previsão, mas sim da probabilidade de uma variável hidrológica ocorrer ao longo do tempo, possivelmente a vida útil da estrutura hidráulica.

Para prever fluxos extremos, ou seja, inundações ou secas, uma das abordagens mais recomendadas e utilizadas em hidrologia é a aplicação de métodos probabilísticos, as distribuições mais indicadas para a análise de vazões extremas são a Weibull, Normal, Log-Normal, Gumbel, Log-Pearson tipo III e Pearson tipo III. Quanto maiores as séries temporais obtidas a partir dos dados fluviométricos, mais confiável é a aplicação dos modelos probabilísticos, pois as vazões extremas estão associadas a tempos de retorno mais longos.

2.4 Disponibilidade hídrica do rio Macaé

O abastecimento de água de um local deve ser analisado a partir da vazão própria dos rios, que seria estimada se a água não fosse utilizada para irrigação e

outros fins, muito menos se houvesse procedimentos de reservatório e realocação entre bacias hidrográficas.

Até o momento, foram realizados dois balanços hídricos, um pela Fundação Getúlio Vargas e outro pelo Comitê da Bacia do Rio Macaé e Ostras (CBH MACAÉ / NUPEM, 2015). Ambos mostraram que ainda há água suficiente no rio Macaé para atender às necessidades atuais. No entanto, esses estudos são ancorados em dados de vazão continuamente atualizados, a fim de corrigir erros na estimativa da disponibilidade hídrica.

O impacto das atividades humanas relacionadas às mudanças estruturais na área de captação representa uma ameaça à segurança hídrica na área, mostrando um aumento nas necessidades de água e uma diminuição em sua capacidade de fornecer água na quantidade e qualidade necessárias. (CBH MACAÉ, 2014).

De acordo com o Plano de Recursos Hídricos (PRHI) da Região Hidrográfica de Macaé e Ostras: relatório síntese, 2014 - INEA, com o objetivo de orientar e subsidiar as ações necessárias para garantir água em quantidade e qualidade adequadas às necessidades atuais e a sociedade e ecossistemas do futuro no estado do Rio de Janeiro, mostra que o rio Macaé já apresenta déficit hídrico no trecho principal onde ocorrem extrações para abastecimento urbano, termelétricas, uso industrial, abastecimento de plataformas offshore de petróleo, como além de possuir diversos pontos de coleta concentrados em um pequeno trecho, o que determina um fenômeno considerado de alta criticidade hidráulica, reduzindo ainda mais a disponibilidade de água para as bacias ali localizadas. Embora a parte montanhosa da região tenha uma cobertura florestal significativa, as atividades humanas, associadas à baixa eficiência das estações de tratamento de efluentes domésticos, comprometem a qualidade das águas da região (CBH MACAÉ, 2014).

De acordo com a Resolução nº 107/2013 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERHIRJ), o Estado do Rio de Janeiro é dividido em 9 zonas hidrográficas para fins de planejamento hidrológico e gestão do território com grande quantidade de água disponível, de acordo com a Unidade de Planejamento Hidrelétrico (UHP). As cidades abrangidas por este acordo estão incluídas total ou parcialmente nessas regiões hidrográficas. Na Figura 2 a seguir temos a disposição das bacias hidrográficas que compreendem o Rio-Macaé.

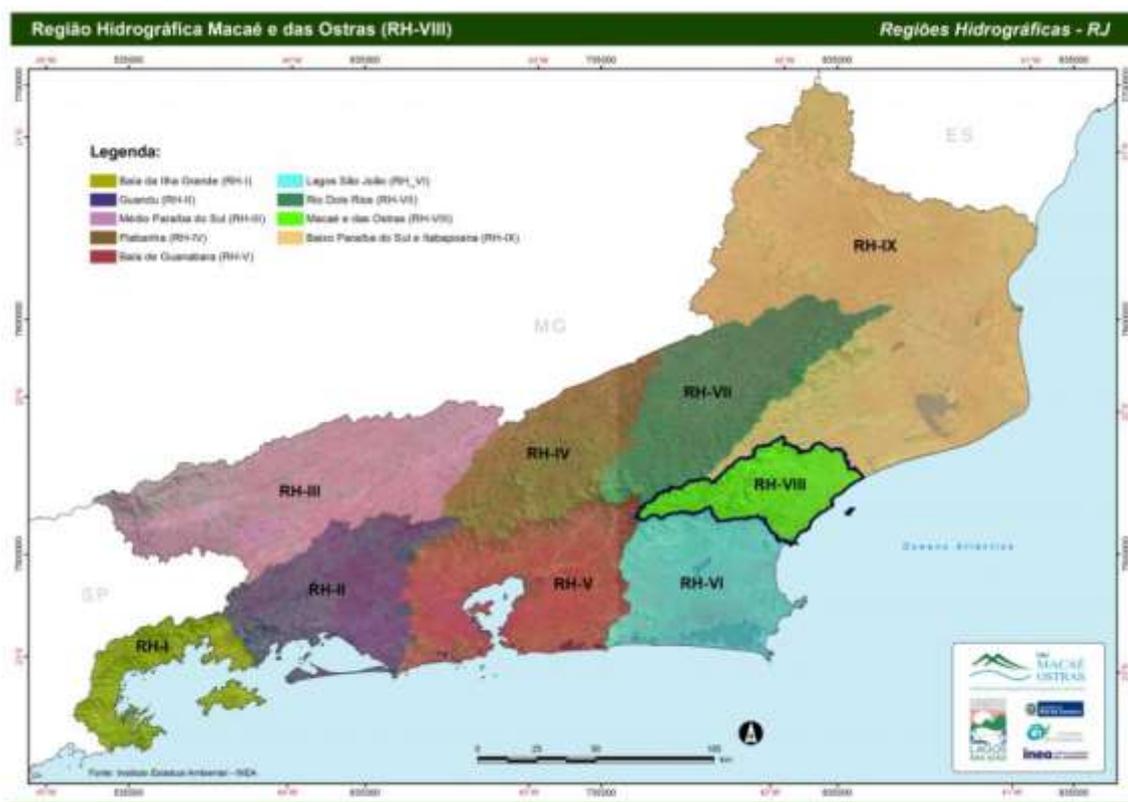


Figura 2 – Bacia Hidrográfica do Rio Macaé e das Ostras (RH-VIII). FONTE: Alfacom (2022).

A região hidrográfica RH-VIII Macaé e das Ostras, possui área de 2.012,9km² (Figura 2), representando 4,6% das regiões hidrográficas do estado do Rio de Janeiro, sendo formada, principalmente, por 03 (três) bacias hidrográficas descritas a seguir:

Bacia Hidrológica do Rio das Ostras: Esta bacia compreende um conjunto de microbacias costeiras que contêm as lagoas de Iriri, Salgada e Itapebussus, cobrindo assim uma área total de 157 km². As lagoas não são indicadas para banho, seu principal uso é a manutenção da flora e fauna locais, assim como é a beleza natural da área. A principal fonte de água desta bacia é o Rio das Ostras, que nasce entre as Serras do Pote, Jundiá e Careta, próximo à região autônoma do Cantagalo e seus principais afluentes são os rios Iriri e Maurício. Em termos de degradação, deve-se mencionar que esses cursos d'água são os receptores de esgoto sanitário de comunidades ribeirinhas, principalmente nas águas do médio e baixo Muriaé (PRHMACAE / OSTRAS, 2012)).

Bacia hidrológica da Lagoa de Imboacica: a Lagoa da Imboacica recebe contribuições dos sistemas de drenagem fluvial de diversos bairros da região metropolitana do Município de Macaé e seus afluentes, além do rio Imboacica,

principal fonte de água que o formou. O rio Imboacica nasce na Serra de Iriri e se estende por cerca de 1 km. O lago, localizado entre os municípios de Macaé e Rio das Ostras, possui área de água de aproximadamente 3,26 km², e possui área de drenagem de 58 km². A principal ação de degradação nesta bacia diz respeito a extensos campos, ausência de mata ciliar nos cursos d'água, lixiviação do solo e lançamento natural de esgoto sanitário (PRHMACAE / OSTRAS, 2012).

Bacia do Rio Macaé RJ VIII: A bacia do Rio Macaé abrange seis municípios, dentre os quais se destaca o município de Macaé, com inserção de cerca de 1448 km² (82%) do seu território na bacia, sendo o restante, distribuído pelos municípios de Nova Friburgo (142 km²), onde estão localizadas as principais nascentes, Casimiro de Abreu (83 km²), Rio das Ostras (11 km²), Conceição de Macabu (70 km²) e Carapebus (11 km²). Contribui ainda para a bacia do Rio Macaé (sub-bacia do Rio São Pedro), a transposição das águas da bacia do Rio Macabu, através da Usina Hidrelétrica Macabu e a sua foz é no Oceano Atlântico, que passa pela cidade de Macaé. Os principais afluentes do Rio Macaé são: Rios Bonito, Purgatório, Ouriço, D'Anta e Pedrin com as nascentes Abacaxi e Carão; rio Teimoso, nascentes Roça Velha e Belarmino e rio Três Pontes (na margem direita); e, na margem esquerda, os rios Boa Esperança, Sana, Atalaia, São Domingos, Santa Bárbara, Ouro Macaé e São Pedro e as nascentes de Santiago, Jenipapo, Guanandirana, Sabiá e Jurumirim (PRHMACAE / OSTRAS, 2012).

De acordo com PRH-Macaé e das Ostras, o balanço hídrico confronta a água disponível e a água consumida em toda a rede de drenagem da Região Hidrográfica Macaé e das Ostras, de acordo com estimativas de 2012, ano da sua elaboração. Para caracterizar a disponibilidade hídrica da RH VIII foram definidos 03 (três) referenciais de vazão: Q90 (vazão com 90% permanência); Q95 (vazão com 95% de permanência) e a Q7,10 (mínima das médias das vazões diárias de sete dias consecutivos com dez anos de tempo de retorno). Os valores foram gerados para cada um dos trechos de segmentação da bacia, utilizando as séries de vazões calculadas pelo modelo hidrológico no período de 1971 a 2011. Como resultado, foram obtidos os valores apresentados na Tabela 2 para cada um dos referenciais de estiagem em cada trecho da rede de drenagem (PRH-Macaé e das Ostras, 2013).

Bacia	Sub-bacia	Área (km ²)	Disponibilidades - sem transposição (m ³ /s)		
			Q90	Q95%	Q7,10
Rio Macaé	Alto Macaé	208,8	4,01	3,40	2,86
	Rio Sana	110,3	0,79	0,62	0,43
	Rio São Pedro	477,68	3,05	2,32	1,56
	Médio Macaé - Total	577,87	7,04	5,87	4,61
	Médio Macaé - Incremental	259	2,24	1,85	1,33
	Baixo Macaé - Total	1.713,56	13,93	11,39	8,36
	Baixo Macaé - Incremental	658,01	3,8	3,20	2,19
Rio Imboacica	Rio Imboacica	58,12	0,18	0,11	0,02
Rio das Ostras	Rio das Ostras	171,17	1,27	0,96	0,63

Tabela 2: Vazões de referência. Fonte: PRH-Macaé e das Ostras (2013)

De acordo com a tabela é possível acompanhar a disponibilidade hídrica disponível em cada trecho e sua respectiva sub-bacia, sendo usada para acompanhamento deste trabalho a vazão compreendida pelo $Q_{7,10} = 8,36 \text{ m}^3/\text{s}$, que é a sub-bacia onde ocorre a captação de água que abastece a cidade de Macaé.

2.5 Perdas de Água

Um dos maiores problemas encontrados no abastecimento de água do Brasil são as altas taxas de vazamento. Existem dois tipos de vazamentos que podem ocorrer em um sistema de abastecimento de água: vazamentos reais e vazamentos aparentes. As perdas reais são constituídas por perdas nas redes de distribuição e nos aquedutos, podendo ser afloramentos quando é possível visualizar o problema, e não afloramentos quando é possível, para casos específicos, apenas verificar o vazamento com métodos acústicos. Os vazamentos aparentes, por sua vez, são resultado de ligações clandestinas, que desviam toda ou parte da água utilizada. Além disso, erros de medição podem ocorrer devido ao uso indevido dos medidores ou falta de manutenção dos mesmos (DE CARVALHO, 2004).

A Tabela 3 mostra o balanço hídrico de um sistema de abastecimento de água no qual os vazamentos de água são inseridos.

Volume de entrada no sistema							
Consumo autorizado		Perdas de água					
Cons. Autorizado não declarado	Cons. Autorizado não faturado	Perdas aparentes			Perdas reais		
Consumo estimado faturado	Consumo médio não faturado	Consumo estimado não faturado	Consumo não autorizado	Erro de medição	Vazamentos e extravasamentos em reservatórios	Vazamentos em adutoras e redes	Vazamento em ramais até o ponto de medição do cliente
Água faturada				Água não faturada			

Tabela 3: Consumo e volume medido.

Embora existam duas classes principais de perdas, as estruturas e tecnologias disponíveis na maioria dos municípios não permitem que sejam medidas separadamente, o que limita a geração de índices e o controle das perdas (MIRANDA, 2003).

O percentual de perda de água devido à causa mencionada varia muito de uma região para outra.

As perdas são avaliadas por meio de três indicadores básicos, que podem ser calculados com base no volume introduzido no sistema, no valor obtido nos hidrômetros (volume consumido), na quantidade de ligações e no valor cobrado ao consumidor. São eles: Distribution Loss Index, Call Loss Index e Billing Loss Index (SNIS, 2013).

A dificuldade das empresas de saneamento em promover um abastecimento de água adequado e economicamente sustentável é evidente hoje no Brasil. Isso se deve em parte aos baixos investimentos nas últimas décadas no monitoramento e manutenção dos sistemas de abastecimento de água, que, associados a problemas de gestão, resultam em preços inadequados e altos índices de perda e faturamento de água (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2013).

No Brasil, o índice de perda de água tratada na distribuição é em média 36,7%, enquanto o índice de perda de vendas é de 35,7% (SNIS, 2014). Isso está em linha com a afirmação de que o Brasil está perdendo mais de um terço da água que produz e não arrecada cerca de R\$ 14 bilhões por ano, reflexo do fraco

desempenho desses prestadores de serviço e da falta de recursos próprios para investir no setor.

3 METODOLOGIA

3.1 Características da área de estudo

A cidade de Macaé é um município brasileiro do estado do Rio de Janeiro, Brasil, localizado a 180 quilômetros a nordeste da capital do estado. Possui uma área total de 1.215.90 km². É conhecida como a capital nacional do petróleo (Prefeitura de Macaé, 2021).

O município dista, aproximadamente, 182 km da capital do Rio de Janeiro, com acesso principal pelas rodovias RJ-155, RJ-106, RJ-162, RJ-168 e BR-101. A RJ 106 percorre todo o litoral, de Rio das Ostras a Carapebus, passando pelo centro da cidade. A Figura 2, mostra a localização e as fronteiras das cidades vizinhas de Macaé

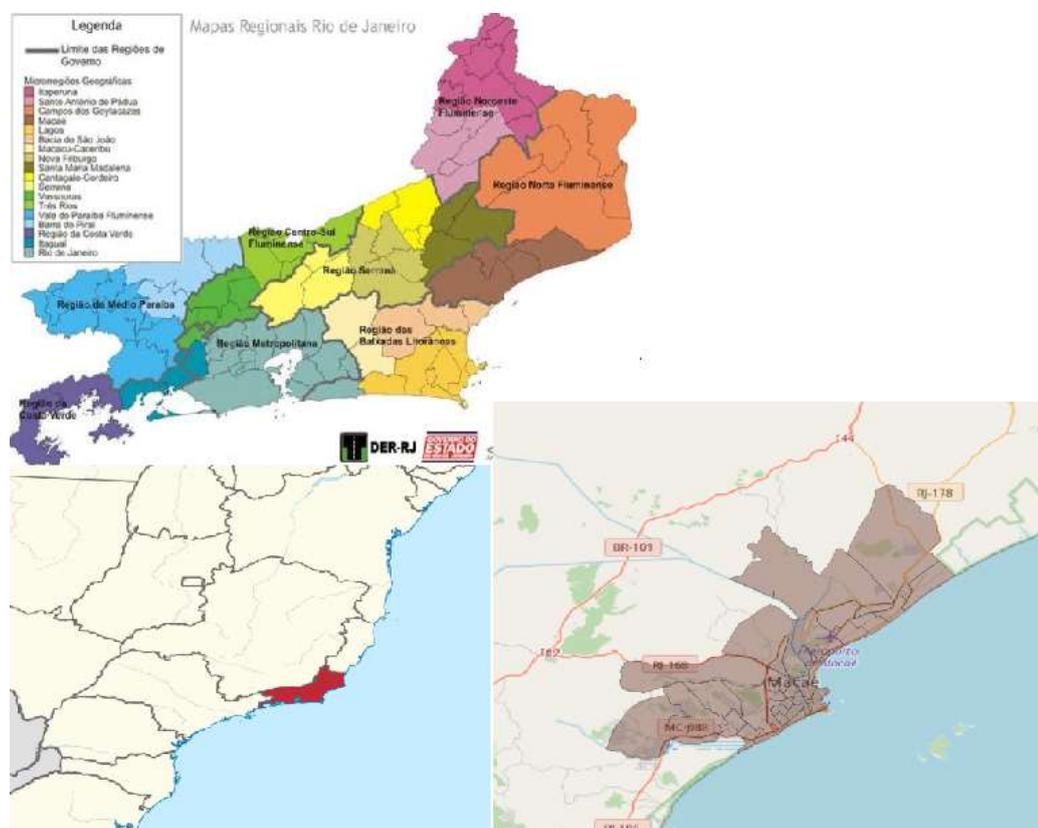


Figura 3: Mapa de localização do município de Macaé - RJ

Macaé está localizada a uma latitude de $-22^{\circ}22'33''$ e longitude de $-41^{\circ}46'30''$ e faz divisa com 6 (seis) municípios de acordo com a Figura 3 Carapebus, Conceição de Macacu, Rio das Ostras, Casimiro de Abreu, Trajano de Moraes e Nova Friburgo- e está totalmente inserido na Região Hidrográfica RH-VIII Macaé das Ostras que compõe a bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (Prefeitura de Macaé, 2021).

De acordo com o último Censo do IBGE, para o ano de 2010, o município de Macaé possuía um total de 206.728 habitantes, com densidade demográfica de 169,89 hab./km². Para o ano de 2020, a população foi estimada em 261.505 habitantes, representando um crescimento de aproximadamente 26% (IBGE, 2019).

De acordo com o Atlas de Desenvolvimento Urbano do Programa das Nações Unidas (PNUD), Macaé apresentou entre os anos de 2000 a 2010, uma taxa média de crescimento populacional de 4,56% e, ainda nessa década, a taxa de urbanização municipal foi de 98,13%, acarretando um crescimento de 2,96%. Na década anterior, entre os anos de 1991 a 2000, apresentou crescimento populacional, com taxa média anual de 3,92%, 0,64% menor quando comparada com a década seguinte. Neste período, a taxa de urbanização representou um aumento de 3,43%, passando de 91,74% para 95,17% (PNUD, 2013).

3.1.1 Atividades econômicas

A política de desenvolvimento urbano e o plano diretor de Macaé, instituídos pela lei complementar, n.º 279, de 17 de janeiro de 2018, visam fortalecer a cidade como um importante centro de desenvolvimento regional, pólo nacional de produção de energia e a sede diversifica as atividades produtivas que geram emprego e renda. Nesse sentido, o Plano Diretor enfatiza que o território do município será organizado através do zoneamento, aproveitando e ocupando o terreno de modo a atender as funções econômicas e sociais da cidade, estabelecendo harmonia entre o desenvolvimento urbano e a zona rural. As condições na área de meio ambiente, transportes, saneamento e outros serviços. A Zonagem Urbana e Rural de Macaé está de acordo com as informações do IBGE para 2016, das atividades econômicas que compõem o PIB da cidade, destacando-se: agricultura, indústria, serviços, administração, defesa, educação, saúde e seguridade social.

O gráfico 1 mostra a contribuição percentual de cada atividade econômica, com um PIB total equivalente a R \$ 17.580.176,08 (x 1.000).

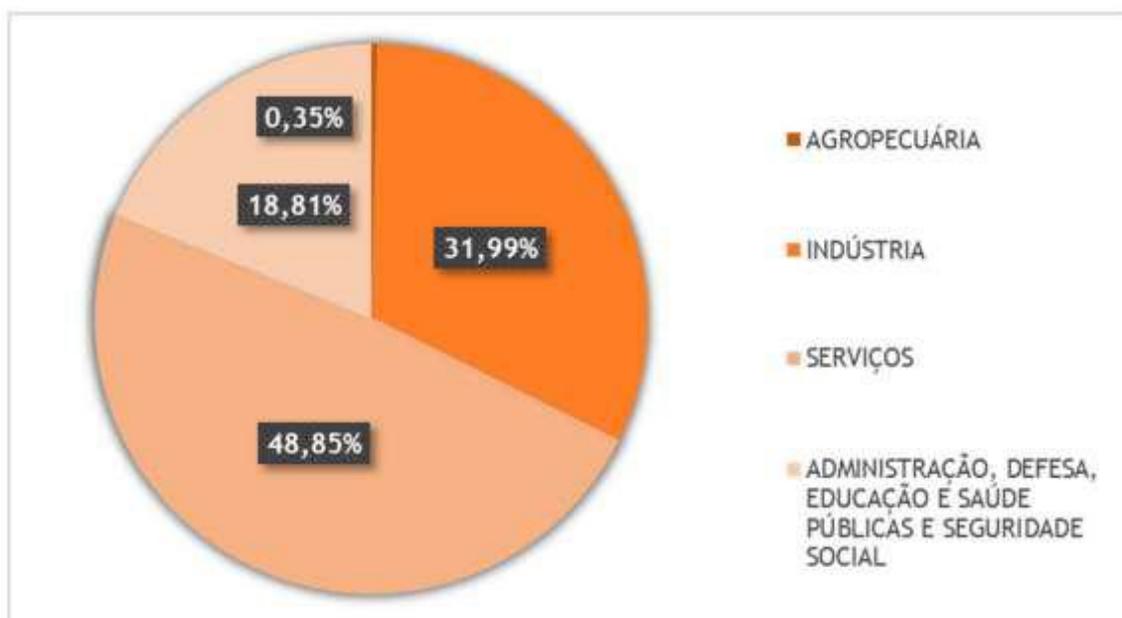


Gráfico 1: Atividades econômicas de Macaé. FONTE: IBGE (2016)

Observa-se que a indústria na cidade de Macaé representa 31,99% da economia local, que reflete no desenvolvimento econômico e a demanda por recursos naturais locais, como água e alimentos.

3.2 Coleta de dados

A prestação de serviços de água em Macaé e os sistemas de abastecimento de água (SAA) da cidade estão a cargo da Câmara Municipal, é importa ressaltar que no início do âmbito deste contrato, tanto a Companhia Nacional de Abastecimento de Água e Saneamento (CEDAE) como a Câmara Municipal eram responsáveis pelo abastecimento de água na sede da cidade. No entanto, a prefeitura do Município de Macaé assinou o Decreto n ° 88/2019 em 10 de julho de 2019, o Decreto que estipula a urbanização dos serviços sob a responsabilidade da CEDAE, dando origem ao Convênio de Cooperação e o contrato de programa assinado com a empresa. O serviço de água em outros municípios como Cachoeiros, Córrego do Ouro, Frade, Glicério e Sana - está sob responsabilidade da prefeitura.

Os Serviços de Esgotamento Sanitário (SES) são operados sob responsabilidade da empresa privada BRK Ambiental (BRK) no Distrito Sede, que franquia o serviço desde 2012, sendo que o prazo de vigência do referido contrato está estabelecido por um período de 35 anos (BRK, 2019). A BRK é a

empresa que faz a distribuição das faturas de água no município de Macaé. Sendo a participação da BRK neste trabalho, como fornecedora dos dados referente aos volumes hidrometrados diferentes de outras cidades onde a empresa responsável pelo abastecimento de água emite os talões de água.

O SES de Macaé não é escopo do presente trabalho, e portanto, não foi diagnosticado. Desta forma, as informações acerca dos SES foram extraídas em sua maioria do Plano Municipal de Saneamento Básico de Macaé (MACAÉ, 2012), do site da empresa concessionária privada BRK Ambiental e de outras fontes secundárias como o SNIS (2018) e o Atlas Esgotos – Despoluição das Bacias Hidrográficas (ANA, 2017).

3.2.1 **Relatórios documental CEDAE**

A CEDAE compila relatórios sobre indicadores primários, operacionais e comerciais de abastecimento de água anualmente e os divulga em seus canais oficiais de comunicação.

Dentre as atividades de responsabilidade dos prestadores de serviços, estão incluídas no SAA: operação e manutenção das unidades de captação, abastecimento e tratamento de água, além do projeto de abastecimento, armazenamento e distribuição de água tratada para pessoas. Segundo informações do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), em 2017, a taxa de cobertura do sistema coletivo de abastecimento de água representava 83,7% da população total.

As séries de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) também foram utilizadas, por exemplo, sobre o número de habitantes em áreas rurais e urbanas e sobre a densidade populacional, assim como suas previsões populacionais e seus dados históricos recorrentes e pertinentes a este trabalho.

Na Figura 4 é demonstrado o resultado anual dos relatórios da CEDAE, no período de 2004 à 2020.

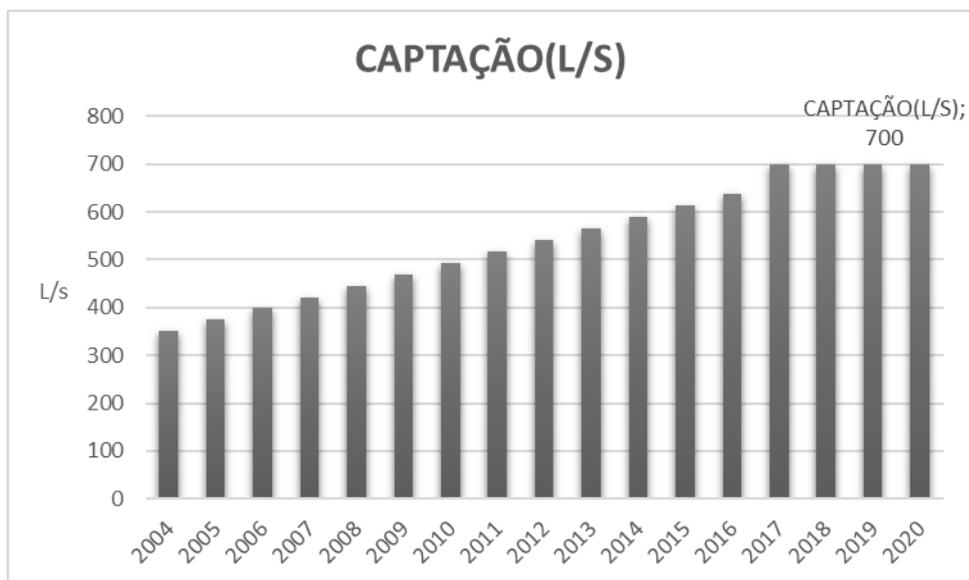


Gráfico 2: Captação anual. FONTE (CEDAE, 2021)

Observe que os dados do Gráfico 2 são referentes às captações de água em um período de 365 dias, houve um crescimento linear no volume de água captado, sendo os anos de 2017 à 2020 uma linearidade no volume captado de acordo com os relatórios emitidos pela CEDAE. A série histórica do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) foi utilizada para complementar os dados que não constam nos documentos disponibilizados pela CEDAE.

Os dados do SNIS devem ser avaliados com cautela, pois a visualização é autodeclarada. Além disso, os SNIS preenchidos pela CEDAE apenas descreveram sua área de forma realista, resultando na falta de informações para outras localidades da cidade, mas não para as atendidas.

3.3 Vazão da bacia do rio Macaé

O município de Macaé possui 82% da superfície localizada na bacia do rio Macaé. A quantidade de água (vazão) na bacia é um fator chave no estabelecimento do balanço hídrico da bacia do rio Macaé, que já foi diagnosticado pela área de captação. O Comitê Macaé Ostras, por meio do Plano de Recursos Hídricos (PRH) (PRH. 2014). De acordo com esse documento, as vazões de vários trechos do rio Macaé foram avaliadas e comparadas com o consumo de água pelas atividades humanas, incluindo abastecimento humano, uso animal, irrigação e uso industrial.

O objetivo deste trabalho foi verificar a vazão mínima do Rio Macaé e seu compromisso com o aumento da demanda do abastecimento da sociedade na região. Para a determinação da vazão mínima é usado o cenário de seca do Rio Macaé: a curva de permanência que engloba a Q90 ou Q95 e a determinação da Q7,10 de acordo com o método de Gumbel. Anteriormente, era feito o cálculo do Q7, que envolvia a manipulação da série histórica, pois gerava uma nova série de dados com fluxo mínimo de 7 dias, quase como um processo aleatório.

A partir dos valores encontrados, esses serão comparados com os cenários previstos nos relatórios de abastecimento de água e coleta de esgoto (CEDAE e BRK - Ambiental). Assim, uma abordagem adequada pode ser feita, sendo necessária a utilização de ferramentas como:

1. Curva permanência: As linhas permanentes Q90 e Q95, respectivamente representando as probabilidades são 90-5% dos fluxos iguais ou maiores que ao longo do tempo, esses fluxos locais encontram-se na curva permanente e são frequentemente utilizados para o planejamento dos recursos hídricos em bacias hidrográficas, determinando a possível vazão do Rio Macaé e suas reservas ecológicas.

2. Método Gumbel: Também conhecido como método de eventos extremos ou de Fisher-Tippett. É aplicada a métodos extremos, em séries anuais. Quando for de interesse estudar os valores mínimos prováveis de um fenômeno, a série deverá conter os valores mínimos de cada ano, ordenados de forma crescente, que é o caso das vazões mínimas.

Para obter uma estiagem com tempo de retorno de 10 anos, considerada objeto de referência no planejamento de recursos hídricos, utiliza-se o método Gumbel com vazão mínima de 7 dias. Os valores de Q7.10 são estimados usando a distribuição de Gumbel para o mínimo. A vazão média anual mínima de 7 dias e o período de retorno de 10 anos, Q7.10, são parâmetros hidrológicos comumente usados em estudos de planejamento e gestão do uso da água.

3.4 Relatórios documentais BRK-Ambiental

Em relação ao serviço de esgotamento sanitário (SES), a empresa privada BRK Ambiental e a Prefeitura Municipal são responsáveis pela operação,

manutenção e ampliação do sistema de esgotamento sanitário (SES), em suas respectivas áreas de abrangência. Segundo dados do SNIS, para o ano de 2017, o índice de coleta de esgoto era de 21,3% e de tratamento de esgoto era de 100,0% em relação ao esgoto coletado (SNIS, 2018).

Conforme preconiza a lei federal nº 11.445/2007, o objetivo geral para os serviços de esgotamento sanitário é alcançar a universalização do acesso nas áreas urbana e rural e garantir que sejam prestados com a devida qualidade a todos os usuários efetivos e potenciais durante o período de planejamento adotado. Para isso, é necessário a ampliação e melhoria da cobertura por sistemas individuais ou coletivos de esgotamento sanitário a fim de promover a qualidade de vida e saúde da população, bem como a redução da poluição dos cursos de água.

BRK Ambiental. Na Tabela 4 a seguir, temos a representação das ligações das categorias analisadas.

Ano	Ligações por categoria				Total de Ligações
	Domiciliar	Comercial	Pública	Industrial	
2015	31522	2755	387	123	34787
2016	31340	2746	316	89	34491
2017	32069	2801	314	93	35277
2018	33019	2891	316	89	36315
2019	33474	2889	317	93	36773
2020	32285	2898	303	105	35613

Tabela 4: Número de ligações. Fonte: Autor (2021).

De acordo com a Tabela 4 observa-se que há um padrão de crescimento constante nos anos de 2015 à 2020, sendo o número de ligações totais hidrometradas e ativas. O número de ligações passa a decrescer no ano de 2020, por fatores ligados a pandemia.

O gráfico 3 a seguir apresentam o volume de água hidrometrada que foi calculada a partir da multiplicação do total de ligações apresentadas na Tabela 4, considerando apenas o abastecimento através das redes de distribuição da BRK-Ambiental no período de 2015 a 2020.

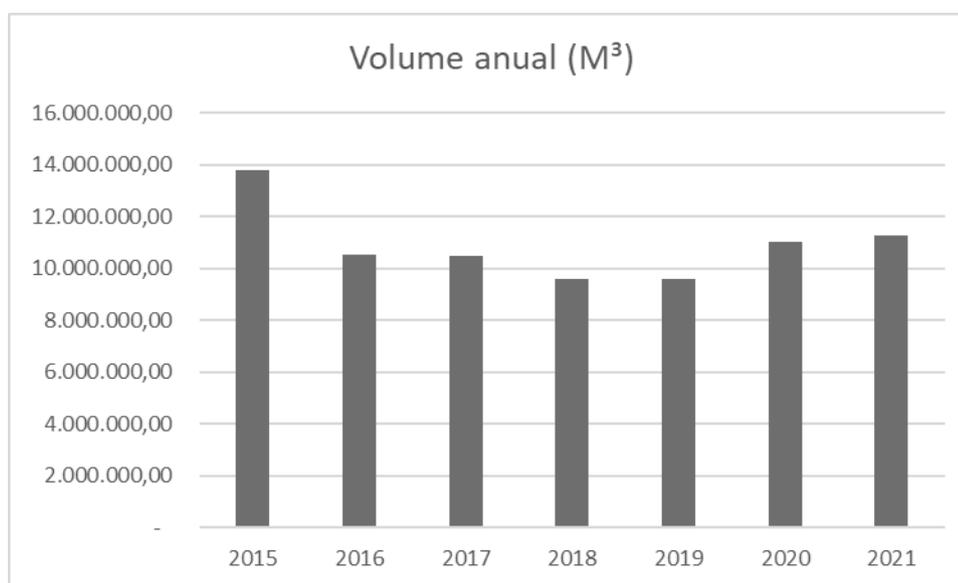


Gráfico 3: Volume medido. Fonte: Autor (2021)

Analisando o Gráfico 3 é possível perceber a variação do consumo de água ao longo dos 7 anos registrados, sendo necessário observar que houve uma

redução mínima de consumo no ano de 2018 com um valor total de água hidrometrada de 9.578.896,13 m³, enquanto o valor máximo foi registrado no ano de 2015 com 13.801.534,64 m³, essas variações e não linearidades são decorrentes de diversos fatores externo e políticos da região que não será abordado neste trabalho.

4.2 Diagnóstico do sistema de captação de água

Analisando-se os dados de consumo micro medidos pela CEDAE exibidos em seus relatórios, podemos observar na Tabela 5 e no Gráfico 4 abaixo o avanço da captação do recurso hídrico durante o período de 2004 e 2020. Esses dados são gerados anualmente pela própria concessionária.

RELATÓRIOS ANUAIS CEDAE - MACAE-RJ		
ANO	CAPTAÇÃO(L/S)	VOLUME ANUAL (M ³)
2004	350	11.037.600
2005	374	11.794.464
2006	398	12.551.328
2007	422	13.308.192
2008	446	14.065.056
2009	470	14.821.920
2010	494	15.578.784
2011	518	16.335.648
2012	542	17.092.512
2013	566	17.849.376
2014	590	18.606.240
2015	614	19.363.104
2016	638	20.119.968
2017	700	22.075.200
2018	700	22.075.200
2019	700	22.075.200
2020	700	22.075.200

Tabela 5: Captação e volume de referência. Fonte: autor (2021)

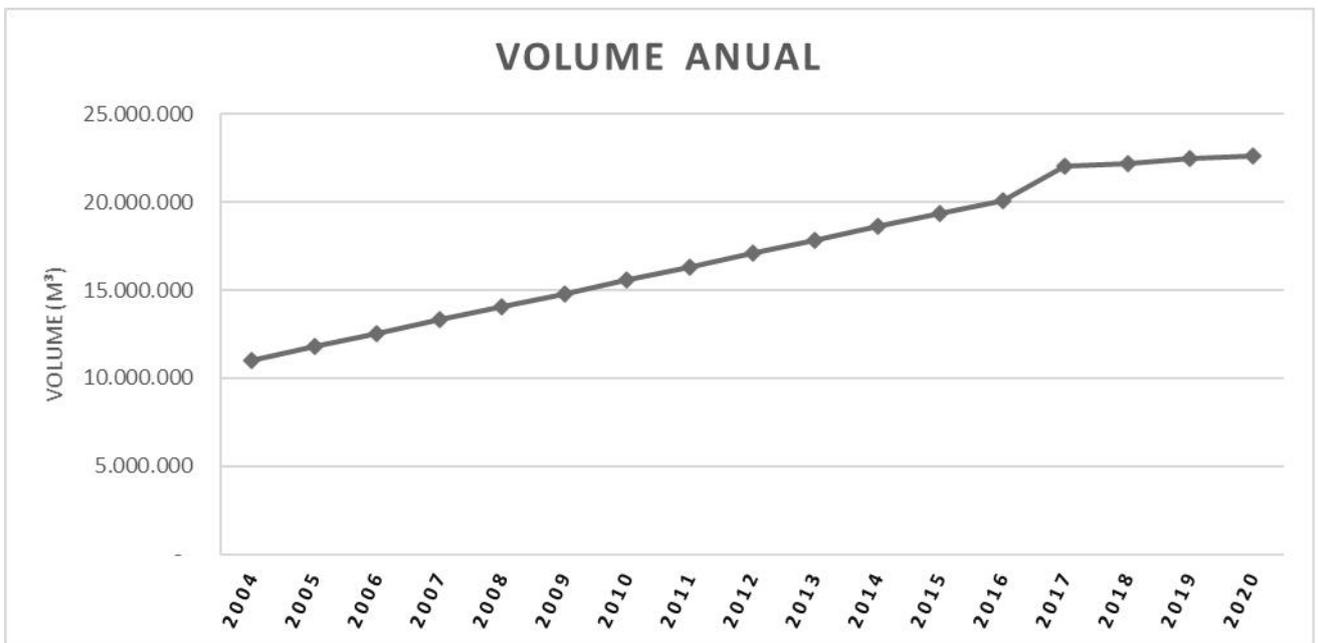


Gráfico 4: Volume captado anualmente. Fonte autor (2021)

Os dados apresentados na Tabela 5 e no Gráfico 4 demonstram um crescimento no volume de água captado por ano, sendo esse aumento natural, porém é divergente do resultado apresentado pela hidrometração da BRK nas tabelas 6 e 7, para os mesmos períodos de medições.

Uma análise feita para estimar a demanda futura do abastecimento populacional de Macaé, através da interpolação de dados históricos obtidos dos relatórios da CEDAE. O Gráfico 5 abaixo demonstra a projeção da expansão do sistema de abastecimento para o período compreendido de 2021 a 2034.

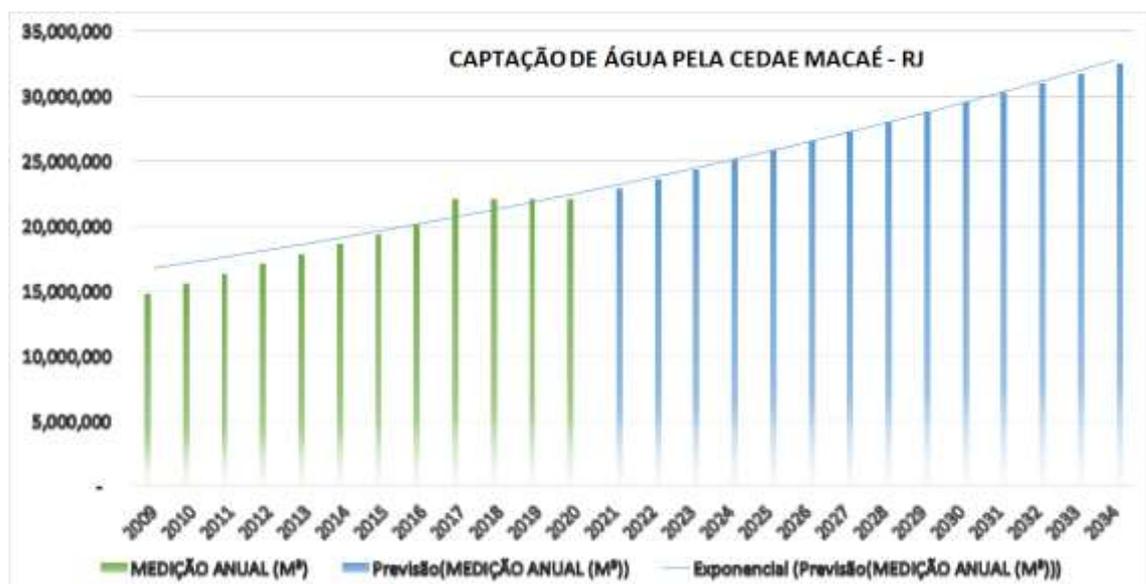


Gráfico 5: Estimativa de captação anual. Fonte autor (2021)

Conforme o Gráfico 5 é possível compreender o crescimento e a necessidade de expansão do SAA, sendo o ano de 2030 uma média de consumo anual 30.000.000,00, que representa uma vazão média de 964,5 l/s.

Por fim, foi contabilizado o total do volume captado pela CEDAE e emitido em seus relatórios e comparado ao volume hidrometrado pela BRK-Ambiental no Gráfico 6.

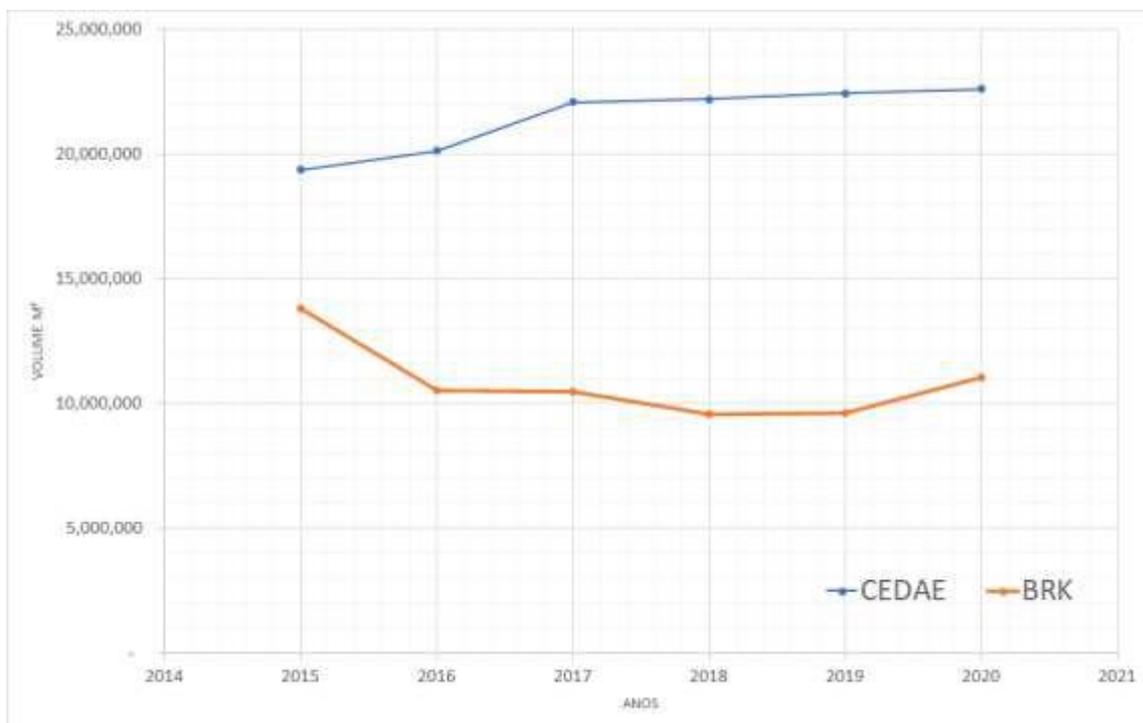


Gráfico 6: Volume captado e medido. Fonte autor (2021)

Examinando os resultados apresentados no Gráfico 6, observa-se a diferença anual entre os volumes de água captado pelo SAA (CEDAE) em comparação ao volume hidrometrado pela BRK Ambiental, sendo 2019 o ano com maior discrepância nos valores medidos destinados ao uso residencial, comercial e industrial urbano.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como tema principal diagnosticar a demanda atual e expor as diferenças nos volumes de água captado do rio Macaé, hidrometrado, as projeções de crescimento populacional e demandas futuras para o entendimento da demanda hídrica.

Para fins de comparação de vazões de demanda x oferta, foi obtido através levantamento de dados técnicos, que a demanda hídrica para abastecimento atual é de 700 l/s, considerando a ampliação descrita no Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro de 2014 que são importantes para auxiliar a elaboração das metas de atendimento de abastecimento de água e esgotamento sanitário, com vistas à universalização da prestação desses serviços dentro do período de planejamento de 15 anos adotado.

De acordo com os resultados, cálculos e a metodologia aplicada a este trabalho, é demonstrado um valor de captação de 700 l/s que anualmente representa 22.075.200 m³ e em comparação a BRK-Ambiental, calculou um volume hidrometrado de 11.041.990 m³, esses valores representam uma diferença de 50,02%, e essa diferença se propaga proporcionalmente ao longo dos anos.

Considerando os resultados expostos sobre a demanda crescente de Macaé, o volume necessário a ser captado no ano de 2030 apenas para abastecimento populacional que inclui residências, comércios e indústrias no perímetro urbano, será de 30.259.440 m³, que representa uma captação de 964,5 l/s ou 0,96 m³/s aproximadamente, esse valor significa um aumento de 37,07% em apenas 10 anos no volume de captação de água do Rio Macaé, não considerando o crescimento da taxa de perdas e nenhum outro ônus relativo ao desabastecimento.

Nesse contexto, podemos comparar com os resultados obtidos no gráfico 3, que demonstra a divergência dos valores entre captação e o abastecimento hidrometrado, sendo um volume de aproximadamente 12,4 milhões de litros de água perdidos pelas perdas aparentes ou não nas tubulações e extravasores, como por exemplo, nas ligações irregulares, abastecimento clandestino, fissuras nas redes de abastecimentos, acidentes e ou quebras das tubulações decorrentes de fatores naturais.

Podemos concluir através deste trabalho que Macaé tem uma captação de água com perdas em média de 50% no volume de água tratada.

A oferta desse recurso hídrico estimada na estação de captação localizada no trecho de Severina em um período de escassez de Q7,10 é de 8,94 m³/s, considerando a captação realizada pela projeção apresentada no gráfico 2 para o ano de 2030, sendo esse valor de 0,96 m³/s na capacidade de abastecimento populacional futuro, temos um cenário crítico de vazão do Rio-Macaé, com um comprometimento hídrico de 10%.

Para que se possa obter um resultado satisfatório em relação às demandas em geral que o Rio-Macaé atende, deve-se atentar às questões das licenças de outorgas concedidas, ao plano diretor municipal com foco nas grandes indústrias, comércios e ao setor agropecuário. Neste trabalho não foi abordado as questões das demandas das termelétricas e do setor agrícola, sendo necessário uma análise minuciosa acerca desses dois setores a fim de complementar o cálculo da vazão demandada.

5.1 Recomendações

É fundamental a conservação ambiental para que o rio supra as necessidades hídricas demandadas pelos diferentes usos de forma a preservar sua nascente. Sendo assim, é de suma importância o enriquecimento da mata que cerca as nascentes e as margens do rio principal, tendo em vista que a vegetação funciona como uma barreira viva de proteção. Além disso, são essenciais algumas medidas como preservar a vegetação já existente, eliminar o desmatamento das encostas e o uso inadequado dos solos, descartar o lixo de maneira correta, assim evitando a poluição. Os acúmulos de materiais nas encostas podem degradar e assorear as margens do rio.

O estudo pode ser expandido para uma análise de visão micro dos sistemas de abastecimento, localizando as perdas aparentes e não aparentes, clandestinos, revisão das outorgas para captação comercial e industrial já emitidas e atualização dos critérios para emissão das mesmas.

Recomenda-se também uma abordagem mais cautelosa para uma plena avaliação das possibilidades de entendimento dos recursos fluviais do Rio Macaé e sua jusante, atentando-se aos projetos que visam a recuperação das nascentes, margens e assoreamentos do curso do rio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - Rio de Janeiro, 2010.

BRASIL. Política Nacional do Meio Ambiente. Lei n.º 6.938 de 31 de agosto de 1981. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm> Acesso em: 2 de ago. de 2021.

BRASIL. Lei n.º 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Diário Oficial da União 2007. 8 de janeiro: Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato20072010/2007/lei/111445.htm. Acesso em: 2 de ago. de 2021.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (BRASIL). Manual de saneamento. Funasa, 2006. GOMES, Heber Pimentel. Sistemas de abastecimento de água: dimensionamento econômico e operação de redes e elevatórias. Editora Universitária-UFPB, 2004.

HELLER, Léo; DE PÁDUA, Valter Lúcio. Abastecimento de água para consumo humano. Editora UFMG, 2006.

INSTITUTO TRATA BRASIL. Perdas de água: Entraves ao avanço do saneamento básico e riscos de agravamento à escassez hídrica no Brasil. 2013. Disponível em <http://www.tratabrasil.org.br/perdas-de-agua>. Acessado em agosto de 2021.

LIBÂNIO, Paulo Augusto Cunha; CHERNICHARO, CA de L.; NASCIMENTO, Nilo de Oliveira. A dimensão da qualidade de água: avaliação da relação entre indicadores sociais, de disponibilidade hídrica, de saneamento e de saúde pública. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 10, n. 3, p. 219-228, 2005.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. Técnicas de Pesquisa. 7ed. São Paulo: Atlas, 2008. 277p.

MENDONÇA, Mário Jorge Cardoso de; MOTTA, Ronaldo Seroa da. Saúde e saneamento no Brasil. 2005.

CARVALHO LJ: LOUREIRO, CFB. 2016. Território, desigualdade e expansão do capital. Geografar, v11, r1, p.26-46. CATELANI, PA; PETRY, AC DI DARIO F; DOS SANTOS, VL. MINCARONE, M.M. 2014, Fish composition (Teleostei) of the estuarine region of the Macaé River, southeastern Brazil, Check List, v. 10, n. 4, p. 927-935.

COSTANZA, R. et al, 1997, The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature, v. 387, p. 253-260,

DANILEWICZ et al Abundance and distribution of an isolated population of franciscana dolphins (Pontoporiablainville) in southeastern Brazil red alert for FMA 17 Report IWC, SC-64-SM17. ESTEVES, F.A. 2011. Do índio goitacá à economia do petróleo: uma viagem pela história e ecologia da maior restinga protegida do Brasil.

FARIAS, PUN. (2018) De campo a cidade urbanização e eutrofização artificial de um ecossistema aquático costeiro (Jagoa imboassica, R.). Tese de Doutorado Programa de Ciências Ambientais e Conservação da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

FERREIRA, MLP. 2011. A sociedade do hidrocarboneto: o ônus do aquecimento econômico gerado pela cadeia produtiva do petróleo e gás em Macaé-R In HERCULANO S. (Org.). Impactos sociais, ambientais e urbanos das atividades petrolíferas: o caso de Macaé (R.). Niterói Programa de Pós-Graduação em Sociologia e Direito (PPGSD) da Universidade Federal Fluminense, p. 169-187.

GODIVA, D. EVANGELISTA H KAMPEL, M. LICINIO M. MUNITA, C. (2010) Combined use of aerogammaspectrometry and geochemistry to access sediment sources in a shallow coral site at Armação dos Buzios, Brazil Estuarine, Coastal and Shelf Science, v. 87. p. 526-534.

GUIMARÃES, LG. (2017) Mudanças no uso e cobertura da terra da Bacia Hidrográfica do Rio Macaé. Dissertação de mestrado apresentado ao Programa de Ciências Ambientais e Conservação da Universidade federal do Rio de Janeiro, IBGE- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2017) v4.3.8.18,9, <https://cidades.ibge.gov.br/>

MAGALHAES S. (2017) Avaliação dos fatores que influenciam na dinâmica de nutrientes, material particulado e vazão em pequenas bacias hidrográficas. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Conservação da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

MARTINS, RL VIEIRA TWM BECKER, BUR, Políticas públicas municipais e a questão ambiental uma análise dos mecanismos legais de proteção ambiental em Macaé. Planejamento e Políticas Públicas v. 50. p.211-230 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. Política Nacional de Recursos Hídricos. 2020. Disponível em : <<https://www.ana.gov.br/aguas-no-brasil/sistema-de-gerenciamento-de-recursos-hidricos>>. Acesso em 18 de agosto de 2021.

ANA. Estudo da ANA aponta perspectiva de aumento do uso de água no Brasil até 2030. 2019. Disponível em : <<https://www.ana.gov.br/noticias/estudo-da-ana-aponta-perspectiva-de-aumento-do-uso-de-agua-no-brasil-ate-2030>>. Acesso em 4 de setembro de 2021.

CBHMACAE. Relatório do balanço hídrico da região hidrográfica macaé e das ostras rd- 06 versão final revisada. Outubro/2013. Disponível em: <<http://cbhmacae.eco.br/wp-content/uploads/2019/03/RD-06-Relat%C3%B3rio-deBalan%C3%A7o-H%C3%ADrico.pdf>> Acesso em: 11 de setembro de 2021.

CBHMACAE. Elaboração do plano de recursos hídricos da região hidrográfica macaé/ostras prh-macaé/ostras relatório de elaboração do plano de recursos hídricos (rprh) versão revisada. 2014. Disponível em: <<http://cbhmacae.eco.br/wp-content/uploads/2018/12/EG0143-R-PRH-RPRH-01-02.pdf>>. Acesso em: 11 setembro de 2021.

CBHMACAE. Relatório de Situação da Bacia. Contrato de Gestão Nº 01/2012 - Indicador 2 Região Hidrográfica VIII - Macaé e das Ostras. Ano IV 2015/2016. Disponível em: <<http://cbhmacae.eco.br/site/wp->

content/uploads/2015/06/Relat%C3%B3rio-de-Situa%C3%A7%C3%A3o_Ano-IV-RHVIII_REV_01.pdf >. Acesso em: 11 setembro de 2021.

CBHMACAE. Relatório de Situação da Bacia. Contrato de Gestão Nº 01/2012 - Indicador 2 Região Hidrográfica VIII - Macaé e das Ostras. Ano IV 2015/2016 Disponível em: < http://cbhmacae.eco.br/site/wp-content/uploads/2016/07/Relat%C3%B3rio-de-Situa%C3%A7%C3%A3o_Ano-IV-RHVIII_REV_01.pdf >. Acesso em: 11 setembro de 2021.

BRASIL. DECRETO Nº 7.217, DE 21 DE JUNHO DE 2010. Regulamenta a Lei no 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, e dá outras providências. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/decreto/D7217.htm, Acesso em: 3 de ago. de 2021.

BRASIL. Ministério da Saúde. Inspeção Sanitária em Abastecimento de Água. Série A: Normas e Manuais. Brasília, 2007

NASCIMENTO, Ruth Silveira do; RIBEIRO, Maria Adriana de Freitas Mágero; BARBOSA, Dayse Luna; OLIVEIRA, Rui; MEIRA, Celeide Maria Belmont Sabino; OLIVEIRA, Lorena Thaís Freitas; LUCENA, Dátia Paula Marques Maia. Análise da percepção sobre a qualidade do sistema de abastecimento de água na cidade de Campina Grande – Paraíba. In: XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. ABRH. Bento Gonçalves-RS, 2013.

MAINALI, Bandita; PHAM, Thi Thu Nga; NGO, Huu Hao; GUO, Wenshan; MIECHEL, Clayton; O’HALLO-RAN, Kelly; MUTHUKARUPPAN, Muthu; LISTOWSKI, Adnrzej. Vision and perception of community on the use of recycled water for household laundry: A case study in Australia. *Science of the Total Environment*, 463-464:657-66, 2017.

DE CARVALHO, Fernando Silva et al. Estudos sobre perdas no sistema de abastecimento de água da cidade de Maceió. 2004. DOS SANTOS, Gabriel Rosa. Estudo de Clarificação de Água de Abastecimento Público e Otimização da Estação de Tratamento de Água. 2011.

CHAVES, H; ROSA, J. W; VADAS, R. G; OLIVEIRA, R. T. Regionalização de Vazões Mínimas em Bacias Através de Interpolação em Sistemas de Informação Geográfica. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. v. 7. P. 43-51. 2002.

COSTA, R.N; FARIAS, M. F. Monitoramento do Rio Macaé com base na participação das Escolas Públicas, uma ação para a sustentabilidade. 2008 . *Revista Visões* 4ª Edição, Nº4, Volume 1 - Jan/Jun 2008. Disponível em: <https://www.fsma.edu.br/visoes/edicoes-antiores/docs/4/4ed_Monitoramento_do_Rio_Macae_Rafael_Maria.pdf > Acesso em 19 de setembro de 2021.

CPRM. Relatório-síntese do trabalho de Regionalização de Vazões da Sub-bacia 59. Serviço Geológico do Brasil. São Paulo, Brasil. 2002.

CRUZ, J. C. Disponibilidade hídrica para outorga: avaliação de aspectos técnicos e conceituais. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande Do Sul. Porto Alegre: UFRGS, 2001.

<<http://www.ecodesenvolvimento.org/posts/2016/posts/novembro/termoeletricas-chegam-a-consumir-volume-de-agua#ixzz6fuBB2NfP>>. Acesso em 8 de agosto de 2021.

FREITAS, Leonardo Esteves de. Atlas Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Macaé. 1a ed. Rio de Janeiro: Editora Nova Tríade do Brasil Ltda. Bibliografia. ISBN 978-85-63297-05-1 1. Rio Macaé. 2. Atlas brasileiros. 3. Bacia hidrográfica 4. Macaé (RJ).

Disponível em:

<<http://www.macaee.rj.gov.br/midia/conteudo/arquivos/1460067952.pdf>>. Acesso em 01 de outubro de 2021.