

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
ENGENHARIA AMBIENTAL**

**Análise de Relatório Público de Monitoramento de Qualidade de
Recursos Hídricos**

Oséias Ribeiro Júnior

**São Carlos – SP
2021**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
ENGENHARIA AMBIENTAL

**Análise de Relatório Público de Monitoramento de Qualidade de
Recursos Hídricos**

Oséias Ribeiro Júnior

Trabalho de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental do Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para obtenção do título Bacharel em Engenharia Ambiental.

Tutor-orientador: Msc. **Francisco José Rodrigues da Silva Junior**

São Carlos – SP

2021

Banca Examinadora

Trabalho de Graduação apresentado no dia 23 de janeiro de 2021 perante a seguinte banca examinadora:

Orientador:

Prof. Msc. Francisco José Rodrigues da Silva Junior

Convidada:

Dr.^a Natália de Souza Pelinson

Professora da Disciplina:

Prof.^a Dr.^a Janaina Fernandez Gomes

"Obstáculos são aquelas coisas assustadoras que você vê quando desvia os olhos de seus objetivos"

(Henry Ford - possivelmente)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela saúde, carinho, cuidado e conforto a todo momento. Aos meus pais, Oséias e Helenice, por sempre serem o meu quarto do pânico, à minha família, principalmente minhas irmãs Laís, Léia e Leila, pelo carinho e por sempre me apoiarem mesmo com todas as ausências, e aos meus “pais americanos”, Ricardo e Regina, por entenderem as restrições de encontros e contatos - estou fazendo valer a pena.

Agradeço meu orientador, Prof. Msc. Francisco José, à Dra. Natália Pelinson e Dra. Franciane, o que seria de mim sem vocês? Agradeço meus amigos de curso (alunos de várias turmas), professores, tutores de disciplina e tutores presenciais do Polo de SJC, em especial ao Prof. Marcos, do Curso de Engenharia Ambiental, que muitas vezes voltaram para resgatar os “perdidos”, e diversos outros professores, que talvez eu nunca saberei nem o nome, mas trabalharam com afinco para que mais essa turma se formasse.

Agradeço aos amigos que me apoiaram em todo tempo, entenderam as restrições, o “hoje não posso” e diversos outros momentos que foram postergados para a realização do meu sonho.

E por último, mas não menos importante, agradeço a Aline, por ter dedicado parte da sua vida para que esse sonho se tornasse realidade. Muito obrigado.

De coração, muito obrigado a todos.

Obrigado Senhor.

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho de conclusão de curso à minha mãe, Helenice, que me inspirou para voltar a estudar: “nunca é tarde”.

RESUMO

A importância da água para vida e para a economia, sua disponibilidade heterogênea e os diferentes interesses envolvidos nos seus usos trouxeram a necessidade da Gestão dos Recursos Hídricos. Essa gestão utiliza os dados de monitoramento das águas como referência para tomada de decisão. As redes de monitoramento podem estabelecer valores de referência e identificar tendências de qualidade de água necessários para o planejamento da bacia hidrográfica. O objetivo do presente estudo foi analisar os relatórios de monitoramento da Agência Nacional de Águas (ANA) e da Companhia Ambiental do Estado de SP (CETESB) para sugerir melhorias que possam fortalecer as redes de monitoramento de forma que os dados possam ser utilizados em aplicações mais complexas no planejamento hídrico, além de propor a utilização dos dados de monitoramento para a modelagem de corpos hídricos no licenciamento ambiental. Para a análise de dados foram utilizadas informações da região UGRHI-06 (Alto Tietê) do banco de dados InfoÁGUAS da CETESB e metadados do repositório da ANA, a partir do Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) referentes à mesma região. Como referência de qualidade foram utilizados os nove parâmetros que compõem o Índice de Qualidade da Água (IQA), para checar a possibilidade de utilização dos dados de relatórios públicos em situações cuja modelagem do sistema pode ser exigida. A análise de dados de qualidade de água apresentou uma série de lacunas temporais que inviabilizam montar um banco de dados robusto e a comparação com dados hidrológicos, demonstrando que o monitoramento tem sua importância atual, mas não está maduro para aplicações mais complexas.

Palavra-chave: Monitoramento de Água, Gestão de Recursos Hídricos, Qualidade das Águas.

ABSTRACT

The importance of water for life and for the economy, its heterogeneous availability, and the different interests involved in its uses brought the need for Water Resources Management. This management uses water monitoring data as a reference for decision making. Monitoring networks can establish benchmarks and identify trends in water quality, which is needed for river basin planning. The objective of this study was to analyze the monitoring reports of the Nacional Water Agency (ANA) and Environmental Company of the São Paulo State (CETESB) to suggest improvements that can strengthen the monitoring networks so that they can be used in more complex applications in water planning. Additionally, it aims to propose the use of monitoring data for modeling of water bodies in environmental licensing. For data analysis, it was used information from the UGRHI-06 region (Alto Tiete), CETESB, InfoÁGUAS database, meta data from the ANA repository, and Electric Energy and Water Department (DAEE) for the same region were used. As a quality reference, the nine parameters that make up the Water Quality Index (IQA) were used to check the possibility of using public reporting data in situations that the system modeling may be required. The water quality data series showed some temporal gaps that make it impossible to set up a robust database and compare it with hydrological data, demonstrating that the current monitoring system has its importance, but it is not mature for more complex applications.

Keyword: Water Monitoring, Water Resources Management, Water Quality, Water Management

SUMÁRIO

Banca Examinadora	i
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	ix
NOMENCLATURA	x
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Justificativa da Pesquisa	1
1.2 Objetivo Geral	2
1.3 Objetivo Específicos	2
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 A Distribuição Hídrica e a Qualidade de Água Superficial	3
2.2 Legislação Ambiental Brasileira: Recursos Hídricos e a Utilização de Bacias Hidrográficas como Unidade Territorial de Gestão.....	8
2.3 Principais Parâmetro na Classificação	15
2.4 O Monitoramento das Águas Superficiais no Brasil e o Importante Papel dos Relatórios Públicos ..	18
3 MATERIAIS E MÉTODOS	24
3.1 A Empresa de Estudo.....	24
3.2 Metodologia da Pesquisa	25
3.3 Metodologia de Cálculos	28
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1 Coleta de Dados de Qualidade de Água.....	31
4.2 Tratamento dos Dados de Qualidade de Águas	32
4.3 Coleta de Dados Hidrológicos	34
4.4 Tratamento de Dados Hidrológicos	37
4.5 Ponderações	38
5 CONCLUSÃO	40
5.1 Recomendações	41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Volume de água e sua distribuição na Terra.	4
Figura 2.2 – Disponibilidade de água no Brasil	5
Figura 2.3 – Índice de atendimento por rede de abastecimento de água no Brasil, por município	8
Figura 2.4 – Índice de atendimento de coleta de esgoto nos municípios em 2016 (%)	14
Figura 2.5 – Rede de monitoramento de água pela Agência Nacional das Águas	20
Figura 2.6 – Mapas interativos gerados por plataformas ESRI on-line com destaque aos pontos de monitoramento de qualidade de água da ANA (a) e um exemplo de dados fornecidos com geração de Índice de Qualidade de Água (IQA) (b).	21
Figura 2.7 – Objetivo de Desenvolvimento Sustentável número 6 e suas metas	22
Figura 3.1 - Do lado esquerdo: foto da CETESB em sua criação. Do lado direito: Foto atual do prédio principal da CETESB	24
Figura 3.2 -Fluxograma das atividades	26
Figura 3.3 - Curvas média de variação e qualidade de cada parâmetro do IQA	29
Figura 4.1 – Portal InfoÁGUAS: pesquisa de qualidade das águas superficiais por parâmetro	32
Figura 12 – Histograma do IQA dos 1.535 pontos analisados, segundo dados da CETESB	33
Figura 13 – Histograma IQA por intervalo	33
Figura 14 – Gráfico de Dispersão IQA x Tempo (1975 a 2020).....	34
Figura 15 - Mapa do Estado de São Paulo com a divisão de gestão de água em 22 UGRHIs	35
Figura 16 - Mapa de espacialização de todas as estações pluviométricas da região da UGRHI- 6 disponibilizadas pelo DAEE.....	36
Figura 17 - Mapa de espacialização das estações pluviométricas da região da UGRHI-6 .	37
Figura 18 – Mapa hidrográfico com interpolação das chuvas.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Classificação IQA.....	17
Tabela 4.1 – Classificação IQA.....	32

NOMENCLATURA

Abreviações

Símbolo	Descrição
ANA	Agência Nacional de Águas
BH	Bacia Hidrográfica
CAR	Cadastro Rural
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DAEE	Departamento de Água e Energia Elétrica
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
IQA	Índice de Qualidade de Água
OD	Oxigênio Dissolvido
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PCA	Análise de Componentes Principais
pH	Potencial Hidrogeniônico
PHI	Programa Hidrológico Internacional
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
PNQA	Programa Nacional de Qualidade de Água
RHN	Rede Hidrometeorológica Nacional
RNMQA	Rede Nacional de Monitoramento de Qualidade de Água
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos
SNIRH	Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos
SNIS	Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento
UGRHI	Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura

1 INTRODUÇÃO

A água é a substância mais abundante do planeta e essencial para a vida humana. Pode ser encontrada na forma sólida, líquida e gasosa: em geleiras, rios e mares ou como umidade do ar. O ciclo hidrológico possibilita e controla a movimentação da água por diversos processos.

O crescimento da atividade humana tem causado variações na concentração de substâncias químicas presentes na água, comprometendo a sua qualidade e o seu uso. A crescente preocupação com a disponibilidade desse recurso natural tem levado à criação de legislação e implantação de práticas de preservação ambiental, que visam manter a disponibilidade desse recurso natural para as gerações futuras.

A intensificação dos conflitos gerados pela ampliação do número de usuários e dos diversos interesses de uso para um mesmo sistema hídrico é um tema contemporâneo de difícil solução. Isso evidencia a importância da gestão dos recursos hídricos para que os múltiplos usos da água sejam garantidos.

Os sistemas de gestão dos recursos hídricos utilizam as informações dos relatórios de monitoramento no planejamento. Para isso o monitoramento deve ser capaz de montar um histórico de informações que possam ser analisadas em relação ao tempo e ao meio circundante, de forma a construir um longo ciclo de geração de conhecimento e valor humano.

Nesse contexto, o presente trabalho se propôs a estabelecer uma análise para aprofundamento do conhecimento proporcionado pelos relatórios de monitoramento de água de interiores, ação necessária devido ao aumento da complexidade dos usos e a necessidade de viabilizar soluções de uso múltiplo dos recursos hídricos e, conseqüentemente, da gestão de bacias hidrográficas. A análise teve como ponto de partida os dados dos relatórios anuais da Agência Nacional de Águas (ANA) e da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) a partir de 1975.

1.1 Justificativa da Pesquisa

A água é essencial para a vida e um ativo dotado de valor econômico para a sociedade moderna, mas o uso indiscriminado, o crescimento da população e a industrialização têm comprometido a sua disponibilidade. Nesse contexto, o monitoramento das águas e sua organização em redes de monitoramento é essencial na avaliação adequada da qualidade de água e fonte de informação que subsidia ações para a Gestão dos Recursos Hídricos, sendo

esta indispensável para manter a disponibilidade da água para os mais diversos fins. Além do mais, o monitoramento com índice de qualidade da água iniciou somente na última década e, segundo a ANA permanece em fase de implantação. O tema trata de uma problemática contemporânea e há a necessidade de estudos para analisar e propor melhorias envolvendo as diversas variáveis que compõem esse complexo sistema, promovendo desenvolvimento e inovação.

1.2 Objetivo Geral

O objetivo principal deste projeto foi realizar uma análise de diversos relatórios de órgãos públicos com o intuito de propor alternativas de melhorias técnicas e de aproveitamento de dados para adequação do gerenciamento de recursos hídricos no âmbito das bacias hidrográficas.

1.3 Objetivo Específicos

Dentre os principais objetivos específicos, podem ser destacados:

- Identificar os principais objetivos destacados pelos monitoramentos de água superficial realizados por agências públicas brasileiras;
- Reconhecer as variáveis que permitem correlacionar à qualidade da água à quantidade requerida em usos outorgados;
- Organizar e analisar dados que permitam a validação de investigações acerca do enquadramento dos corpos hídricos, bem como a avaliação espaço-temporal da qualidade da água.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A Distribuição Hídrica e a Qualidade de Água Superficial

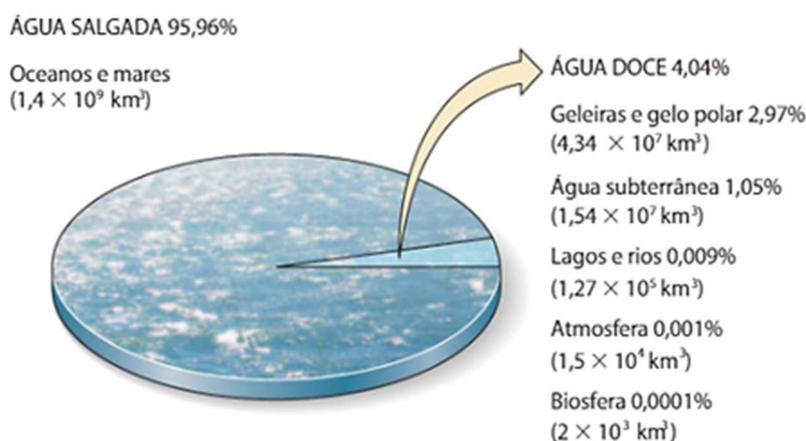
“A Terra é azul”. A frase atribuída ao russo Yuri Gagarin, primeiro homem a orbitar a Terra em 1961, demonstra a dimensão dos oceanos e a proporção de água na composição do planeta. Por consequência dessa quantidade de água temos um ambiente propício à vida humana e de toda a biodiversidade que conhecemos. Segundo o astrofísico Christian McKay, a vida subsistiria com a ausência de diversos elementos, mas nunca com ausência de água. (EARLE, 2018).

Além da sua importância fundamental como pré-requisito para a vida, a água desempenha outros papéis a depender da sociedade em que está inserida. Para a sociedade urbana a água é um bem público que pode ser apropriado de forma privada e, dominada pela tecnologia, ser transformada em um produto; através da geração de energia, transporte, lazer, paisagismo, turismo, irrigação ou alimento. Enquanto em sociedades tradicionais as águas são bens da natureza para uso comum, atreladas a forças divinas ou habitat de seres sobrenaturais e desrespeitá-los pode trazer destruição e miséria. (DIEGUES, 2005).

Grotzinger e Jordan (2013) pontuam que a quantidade total de água na Terra seria aproximadamente 1,4 bilhão de quilômetros cúbicos, distribuída entre os vários reservatórios dos compartimentos ambientais e apesar de existir fluxo entre os diferentes armazenamentos com uma variação nas proporções de volume, o total permanece constante. Libânio (2010) apresenta ainda que a distribuição de água superficial nos continentes ocorreria da seguinte forma: 46% nas Américas, 32% na Ásia, 9% na África, 7% na Europa e 28% na Oceania.

Observe na Figura 2.1 uma estimativa das proporções da distribuição de água. Sendo assim, analisando intervalos de tempo geologicamente curtos (dias, meses ou mesmo anos), não é observado aumento ou perda líquida de água entre as diferentes geoesferas terrestres. Todavia, as questões com a disponibilidade hídrica preocupam, seja devido à perda da qualidade do recurso ou à dificuldade de acessá-lo em determinadas regiões do globo.

Figura 2.1 – Volume de água e sua distribuição na Terra.



Fonte: Grotzinger e Jordan (2013), p. 476.

Na Figura 2.1 é possível observar, então, que mesmo com uma significativa quantidade de água doce, ela se encontra dividida entre atmosfera, solo e geleiras, de forma que apenas aproximadamente 0,009% de toda água do mundo é doce e de fácil acesso para o consumo humano.

O Brasil tem aproximadamente 12% da água doce superficial do mundo (ANA, 2012). Embora isso represente um bom ponto de partida, não é suficiente para garantir a disponibilidade, uma vez que essa quantidade de água, ou potencial hídrico, não é igualmente distribuída por todo o território. Para uma análise de disponibilidade, além da distribuição de água, também é levado em consideração o volume demandado. Essa análise acentua a irregular disponibilidade de água pelo território brasileiro. Por exemplo, a região Sudeste tem a maior concentração demográfica do Brasil e menor potencial hídrico do que a região Norte, esta por sua vez tem o maior potencial hídrico do Brasil, mas a menor concentração demográfica do Brasil, então, em relação à região Norte, além de ter menor potencial hídrico, a região Sudeste tem maior densidade demográfica o que diminui significativamente a disponibilidade de água nessa região, mesmo estando ambas as regiões dentro do território brasileiro (JADE, 2018).

Além disso, alguns usos, como abastecimento público e dessedentação de animais, requerem maior grau de qualidade da água, por isso nem toda água existente em uma região pode estar disponível para um uso específico. Então, o tipo de uso da água também é um fator limitante para a disponibilidade hídrica. Isso é facilmente visualizado na cidade de São Paulo que vive à beira do estresse hídrico, mas não pode utilizar a água da maioria dos seus rios devido ao nível de poluição delas. Outras regiões, inclusive regiões com grande

concentração de pessoas, estão em áreas com baixa disponibilidade de água. A Figura 2.2 mostra a disponibilidade de água no Brasil em função da distribuição e da demanda.

Figura 2.2 – Disponibilidade de água no Brasil



Fonte: WRI Brasil, 2019

A água utiliza a energia recebida do sol para movimentar pelos diversos estados físicos, esse movimento constante é conhecido como ciclo hidrológico. A precipitação, seja ela sólida (neve) ou líquida (chuva), é considerada o início do ciclo hidrológico terrestre. Quando a água da chuva atinge a superfície terrestre pode escoar superficialmente até um corpo hídrico ou infiltrar no solo, onde parte ficará retida no solo e parte poderá percolar até as camadas mais profundas e contribuir para a recarga de aquíferos, a depender das características hidrogeológicas locais. Através da evaporação, a água se movimenta do estado líquido para o gasoso, o vapor proporciona a formação de novas nuvens de chuva que irão precipitar a água sobre oceanos e continentes, inserindo a água novamente no ambiente e caracterizando o ciclo (COLLISCHONN; TASSI, 2010).

Nesse conjunto é possível visualizar os efeitos dos diversos usos do solo no ciclo hidrológico e talvez até no ciclo de chuvas, pois o solo com a vegetação natural retém a água

nas folhas e raízes dando uma velocidade de escoamento para a água precipitada. A remoção da cobertura vegetal natural, que normalmente se amontoa verticalmente por metros, traz uma redução da retenção e aumento da velocidade de escoamento da água precipitada, além de deixar o solo mais desprotegido e suscetível à erosão e consequente assoreamento dos rios. A impermeabilização do solo, consequência das cidades, promove um maior aumento da velocidade de escoamento da água precipitada. O aumento da velocidade de escoamento, a partir da redução da cobertura vegetal original e eventualmente agravados pelo assoreamento dos rios, em todos os casos ocasionará uma redução da capacidade da bacia hidrográfica em reter a água da chuva, fazendo quem que seja necessário maior quantidade de chuva para manter a mesma quantidade de água naquele sistema.

No escoamento da água, em qualquer uso do solo, ocorre arraste e solubilização de substâncias pela água que se deslocam para os corpos hídrico, por esse motivo, a concentração das substâncias na água variam naturalmente em relação ao regime de chuva. Contudo não são somente substâncias naturais que a água arrasta para dentro dos corpos hídricos. Nela, toda a poluição gerada e dispersa dentro da área da bacia hidrográfica, seja: agrotóxicos, adubos, material particulado de queima, material particulado de pneus, óleos e outros resíduos de áreas urbanas, são arrastados para o interior dos rios e lagos aumentando a concentração das substâncias e provocando efeitos adversos no ambiente natural. Essa movimentação de substância é conhecida como poluição difusa. Além da poluição difusa, também influenciam na qualidade dos corpos hídricos a quantidade de lixo despejada diretamente no solo (ou na água) na área dentro da bacia e a existência ou não de tratamento de efluentes seja ele doméstico ou industrial (FERREIRA, et. al., 2018).

As sociedades humanas têm explorado e utilizado a água, de maneira intensificada, seja ela água subterrânea ou água que flui superficialmente em rios, podendo ser armazenadas em camadas do subsolo. Há uma evidência direta do movimento da água sob a superfície com a disponibilidade deste recurso para a utilização, ou seja, o uso dado ao solo pode comprometer a disponibilidade da água superficial, a movimentação de água nas camadas do subsolo e a disponibilidade de águas subterrâneas (NUNES, 2017).

É notório que o desenvolvimento social e industrial tem sido acompanhado pelo aumento da demanda de água. Além do aumento do volume de captação, há a multiplicidade de usos imposta ao corpo hídrico, por exemplo: abastecimento público, irrigação, uso industrial, geração de energia, dessedentação animal, transporte, lazer, entre outros. Esses

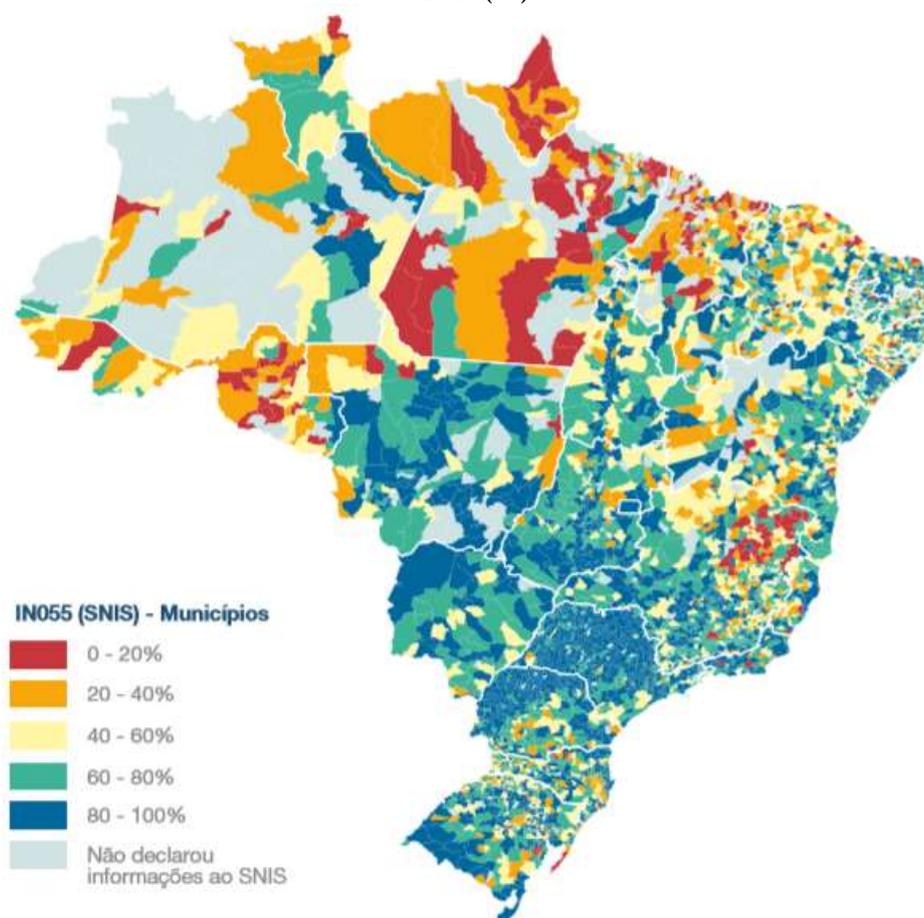
fatores impõem a necessidade de uma Gestão Hídrica para garantir a disponibilidade do recurso hídrico na quantidade e qualidade que atenda a todos os usuários.

A principal dificuldade na gestão dos recursos hídricos pode ser resumida, em uma breve análise, na necessidade de se garantir o uso múltiplo da água em uma bacia hidrográfica, apesar da desconexão espaço temporal apresentada entre a maior retenção de água e o período com menos precipitações e, portanto, menor disponibilidade hídrica.

Como princípio básico do gerenciamento das águas, deve-se considerar que os usos múltiplos podem ser não consuntivos ou consuntivos, variando conforme o seu coeficiente de retorno da água ao meio ambiente. No primeiro, temos o uso da água para transporte e lazer, que não afetam a quantidade de água. No segundo, abastecimento urbano, dessedentação animal, indústria da transformação, irrigação, evaporação, entre outras, são atividades com taxa de retorno da água para o meio ambiente variam, mas são sempre menores que 100% (ANA, 2019).

É importante registrar que hoje, segundo o Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIRH) (2018), aproximadamente 35 milhões de pessoas não são atendidas por rede de água no Brasil, ou seja, não tem acesso ao serviço básico de água com grau de qualidade de abastecimento público, conforme mostra a Figura 2.3. A estimativa da Organização das Nações Unidas (ONU) é que 3 bilhões de pessoas no mundo sofrerão com a escassez de água em 2025.

Figura 2.3 – Índice de atendimento por rede de abastecimento de água no Brasil, por município 2016 (%)



Fonte: ANA, 2019

Na Figura 2.3 é possível observar a situação de cada município do Brasil em relação ao índice de cobertura do sistema de abastecimento de água, fica nítido que nenhum estado está completamente azul, ou seja, ter o sistema de abastecimento de água tratada atendendo toda a sua população, e na região norte e nordeste há uma concentração maior de áreas com abastecimento atendendo menos de 80% da população. Então, mesmo o Brasil sendo um dos países com maior concentração de água doce superficial do mundo, isso não é suficiente para garantir a universalização do abastecimento de água.

2.2 Legislação Ambiental Brasileira: Recursos Hídricos e a Utilização de Bacias Hidrográficas como Unidade Territorial de Gestão

A Carta Régia de 1797 declara rios, nascentes e encostas como propriedade da Coroa, e como tal a sua proteção e utilização segundo autorização da Coroa (SEMANA DE HISTÓRIA DA UEL, 2016), pode ser considerada a primeira legislação ambiental brasileira,

pois prevê, de alguma forma, a proteção e controle à exploração. Contudo as justificativas dadas pela Coroa na própria carta deixa nítido que não há qualquer sentimento ambientalista, pois não há o reconhecimento do protagonismo do meio ambiente. Embora haja uma compreensão quanto aos efeitos da degradação ambiental, ela se restringe às atividades econômicas. O crescimento da análise científica nas décadas seguintes trouxe conhecimento e desenvolvimento da compreensão ambientalista e de proteção ambiental.

Em 1864, foi construído no Rio de Janeiro, então a capital federal, o primeiro sistema de coleta de esgoto do Brasil. E, no início do século XX, apareceram as primeiras estruturas legislativas com foco na gestão de recursos hídricos: como a criação da a Diretoria Geral de Saúde Pública, resultado da reforma sanitária de Oswaldo Cruz em 1904; a criação da Inspetoria de Obras contra as Secas em 1909, hoje conhecido como Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS); e o novo Código Civil em 1916, base para dar forma à legislação de proteção ambiental, prevendo a ordenação do uso do solo: a proteção à propriedade, a proibição de construções capaz de poluir águas de poços ou de outras fontes, além do direito de impedir o uso nocivo da propriedade por vizinhos. O Decreto 25.642 de 1934, ficou conhecido como Código das águas, e veio para regulamentar as determinações já previstas no Código Civil (MACÊDO, 2010).

A partir da década de 60 houve uma acentuação na curva do sentimento ambientalista e amadurecimento no entendimento da fundamental importância do meio ambiente e sua proteção, ou analisando por um outro viés, os crescentes prejuízos causados pela degradação ambiental, o aumento das vítimas de acidentes ambientais e a maior necessidade dos serviços ambientais para dar suporte à crescente necessidade de exploração dos recursos naturais fizeram com que o fator ambiental passasse cada vez mais a ser considerado nas políticas públicas. Isso pode ser inicialmente sentido no Plano Nacional de Saneamento Básico de 1967, que estabelece o programa governamental para abastecimento de água e esgoto sanitário.

Um importante evento que ajuda a explicar o crescimento da consciência ambiental é a Conferência da ONU - Primeira Conferência Mundial Sobre o Homem e o Meio Ambiente, em Estocolmo, na Suécia, em 1972, com o objetivo de tratar de questões relativas à degradação ambiental. Essa conferência contou com 113 chefes de estado além de 400 instituições governamentais e não governamentais, que inclui cientistas, pesquisadores e especialistas. Não foi possível nenhum acordo direto, já que a única proposta era limitar a industrialização e isso opôs países desenvolvidos contra países em desenvolvimento, mas

ainda assim foi um marco, pois trouxe a problemática ambiental para o centro dos debates, e ainda foi possível sair com 19 princípios do Manifesto Ambiental. No evento o Brasil liderou o grupo países “com resistência ao reconhecimento da importância da problemática ambiental, sob argumento que a principal poluição era a pobreza”, segundo o Ministro Costa Cavalcanti: “Desenvolver primeiro e pagar os custos da poluição mais tarde” (ACHÉ, 2018).

Na década de 80 podemos destacar o Seminário Internacional de Gestão de Recursos Hídricos, que reuniu diversas autoridades e especialistas no assunto em diversos encontros e provocaram o debate no âmbito nacional. Nessa década o ambientalismo alcançou sua maturação jurídica. A legislação passa a ter também o foco de proteção ambiental. A tutela jurídica do meio ambiente passou a ser apoiada pela: Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), na Lei nº 6.938 de 1981; Lei nº 7.347 de 1985, que disciplina a Ação Civil Pública; a Constituição Federativa de 1988; e a Lei de Crimes Ambientais, através da Lei nº 9.605 de 1998 (JUNG, 2011).

A PNMA define conceitos como Meio Ambiente, Poluição, Padrões de Qualidade Ambiental, Poluidor Pagador, entre outros, e utiliza de instrumentos como estabelecimento de padrões de qualidade ambiental, zoneamento ambiental, avaliação de impactos ambientais (AIA), licenciamento ambiental, relatório de qualidade do Meio Ambiente (RQMA), e auditoria ambiental, entre outros, com o objetivo principal de compatibilizar o desenvolvimento econômico com a preservação da qualidade do meio ambiente e do equilíbrio ecológico, entre outros objetivos específicos de igual importância para a proteção ambiental. (BRASIL, 1981).

A Lei nº 7.347 de 1985, que disciplina a ação civil pública de responsabilidade por danos causados ao meio ambiente, entre outros, é uma normatização processual para democratizar o direito do cidadão à proteção ambiental. Dessa forma a proteção do meio ambiente contra ações causadas pelo homem está sob proteção do Estado, tornando assim, a ação civil pública um instrumento para garantir a efetividade de direitos (PAULA, 2003).

A Constituição Federal (1988), de maneira resumida, trouxe o meio ambiente para a classe de bens tutelado juridicamente e dá protagonismo ao meio ambiente instituindo-o como bem fundamental para a existência humana, de maneira muito explícita no artigo 225: “Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”. Além de instituir o

Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). No total são 22 artigos que direta ou indiretamente tratam da proteção ambiental (BRASIL, 1988).

A violação das leis de proteção ambiental, dano e prejuízo ao meio ambiente não tinham sanções regulamentada até 1998, quando foi promulgada a Lei de Crimes Ambientais. A importância da Lei nº 9.605 de 12 de fevereiro de 1998 se dá no campo processual, pois as infrações são claramente definidas e as punições uniformizadas e graduadas, facilitando julgamento e aplicação das penalidades (BRASIL, 1998).

A Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, também conhecida como RIO-92, foi mais um importante evento, nos mesmos moldes da Conferência de Estocolmo, realizada no Rio de Janeiro em 1992, que além de colocar novamente o meio ambiente na agenda pública, podemos destacar como resultado a Carta da Terra, a Agenda 21 e o início de um acordo de metas ambientais para os países signatário. A Agenda 21 abordou os problemas ambientais em um contexto social incluindo a pobreza, padrões insustentáveis de produção e consumo, entre outros, propondo um programa de ações para alcançar a conciliação entre crescimento econômico através de atividades que protejam e renovem os recursos ambientais, conhecido como desenvolvimento sustentável (ONU, 2015).

A Conferência de Estocolmo, a Rio-92, a convenção de Brundtland, que gerou o documento “Nosso Futuro Comum”, entre outros eventos relacionados, não têm força legal, mas mostrou-se de grande importância para propor uma agenda ambiental aos entes públicos e trazer os temas relacionados à degradação do meio ambiente e todos os seus desdobramentos para o centro do debate, de forma que, a sociedade amadureceu conceitos ambientais e as leis passaram a ser um reflexo desse amadurecimento.

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) foi instituída pela Lei nº 9.433 e tem como fundamentos: a água como recurso natural limitado, dotado de valor econômico, como bem de domínio público, prioritária para o consumo humano; a gestão descentralizada dos recursos hídricos para proporcionar o uso múltiplo das águas e a instituição da bacia hidrográfica como unidade territorial para a implementação da PNRH (BRASIL, 1997).

A bacia hidrográfica (BH) é, portanto, a unidade territorial adotada para o planejamento e a execução do gerenciamento de recursos hídricos (BRASIL, 1997). Porém, como a responsabilidade do planejamento urbano é atribuída à administração municipal, a utilização da delimitação espacial que acompanha o manejo das águas ainda não é uma

realidade em algumas regiões, em especial em que os Comitês de Bacias Hidrográficas não estão bem consolidados (ANA,2019).

O planejamento de gestão das bacias hidrográficas pode suavizar a linha inicial apenas aplicada à gestão de águas, enaltecendo a possibilidade de integrar fatores ambientais em um planejamento não exclusivamente de um município. Assim, um conjunto de municípios que fazem parte de uma mesma bacia e apresentam uma dinâmica em comum em muitos aspectos sociais, ambientais e até mesmo financeiros, podem ser incentivados a estabelecer monitoramentos em conjunto. Levando em consideração os fatores de similaridade de características socioeconômicas e geológica-ambientais, os monitoramentos podem ser realizados de forma integrada e efetuados em microbacias pertencentes a uma mesma bacia hidrográfica de forma coordenada para controle e manutenção da qualidade ambiental de toda uma região (LIMA,2018).

O Estatuto da Cidade, como é conhecida a Lei nº 10.257 de 10 de julho de 2001, entre outras coisas, institui a obrigatoriedade do Plano Diretor, com todos os seus instrumentos de política de desenvolvimento, para a administração municipal com mais de vinte mil habitantes. Na prática a legislação é na área de ordenamento da ocupação do solo, mas sua importância dá-se pela relação entre uso do solo e a alteração de concentração das substâncias nos corpos hídricos (BRASIL, 2001).

A Resolução CONAMA Nº 357 de 2005 é de suma importância para a gestão de recursos hídricos, pois classifica águas doces, águas salinas, águas salobras, dá parâmetros de qualidade água e classificação de corpos hídricos quanto ao uso (BRASIL, 2005).

A legislação trouxe alguns instrumentos importantes para o planejamento de bacias hidrográficas, podemos destacar o Plano de Recursos Hídricos, previsto na PNRH, e o Zoneamento Ecológico-Econômico, previsto na PNMA. Além de estabelecer responsabilidade, como a obrigação do órgão gestor dos recursos hídricos de monitorar, fiscalizar, controlar e avaliar os corpos de água, e divulgar a informação aos Comitês de Bacias (LIMA; SOARES, 2015).

Para efeito deste trabalho também é importante a Lei nº 9.984 de 17 de julho de 2000 que criou e deu competências à Agência Nacional de Água (ANA) regulamentada pelo Decreto nº 3.692 de 2000. A ANA é a autarquia federal responsável pela implementação da PNRH onde podemos destacar, entre outros, sua atuação para supervisionar, controlar e avaliar ações e atividades decorrentes do cumprimento da legislação federal pertinente aos

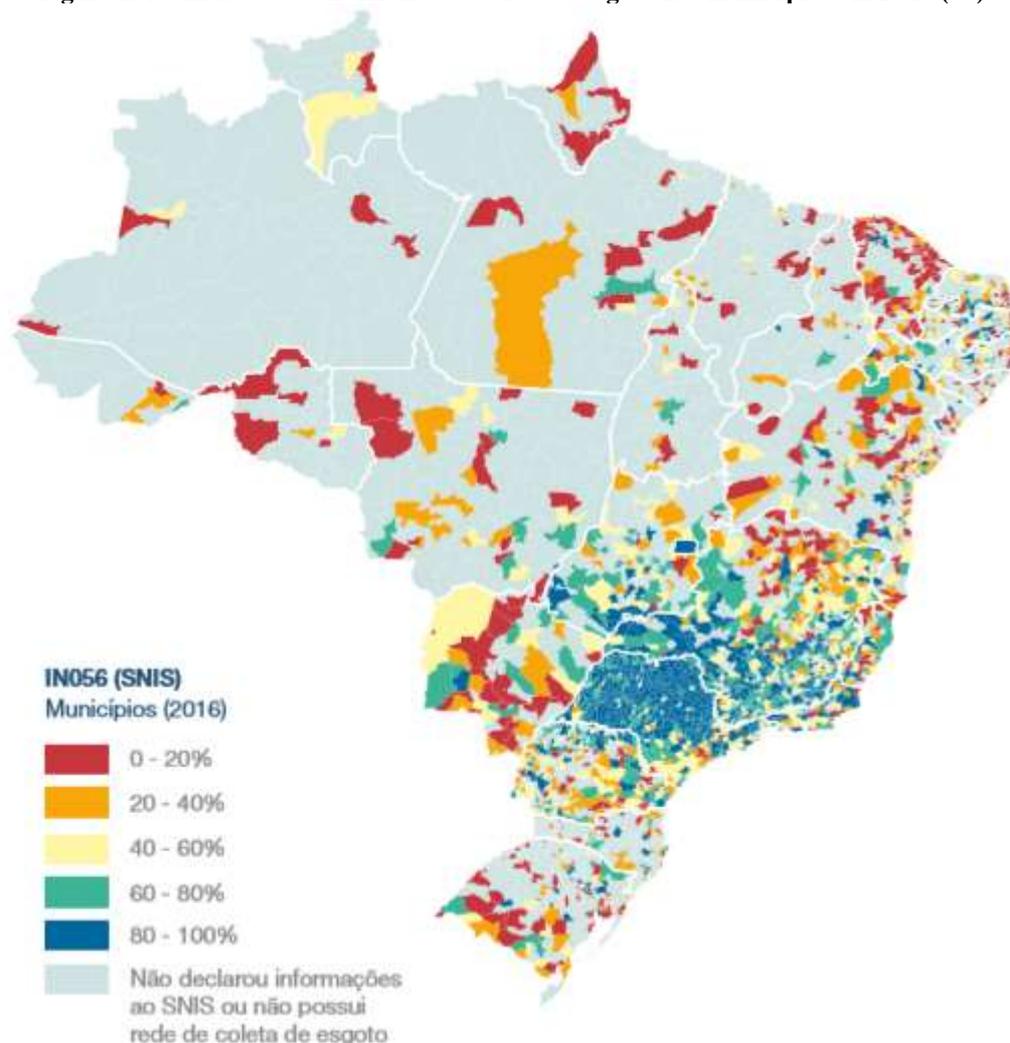
recursos hídricos, e organizar implementar e gerir o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (BRASIL, 2000).

Nesse contexto, cada estado da federação criou sua legislação local para regulamentar e instrumentalizar no estado as orientações da legislação federal. Para o estado de São Paulo podemos destacar: o Decreto nº 50.079 de 1968, que criou a agência ambiental CETESB, atual Companhia Ambiental do Estado de São Paulo; o Decreto nº 8.469 de 1976, que dá as competências à CETESB, classifica as águas e dá padrões de qualidade; a Lei nº 997 de 1976 atualizada pela Lei nº 9.477 de 1996, que institui o sistema de prevenção e controle da poluição do meio ambiente; a Lei nº 9.509 de 1997, que institui a Política Estadual do Meio Ambiente. A Política Estadual do Meio Ambiente, regulamentando o artigo 193 da Constituição do Estado de São Paulo, nos termos do artigo 225 da Constituição Federal. Também instituiu o Sistema Estadual de Administração da Qualidade Ambiental, Proteção, Controle e Desenvolvimento do Meio Ambiente e Uso Adequado dos Recursos Naturais - SEAQUA (SÃO PAULO, 1997).

Foram citadas as bases legais, ou parte da legislação, que atende aos interesses deste trabalho. Contudo, é nítido o grande arcabouço jurídico criado, com os mais diversos instrumentos legais, no âmbito federal, estadual e municipal para definir juridicamente o meio ambiente com os contornos de um bem de uso comum protegido pelo estado.

Dentre os diversos desafios para o avanço da agenda ambiental no Brasil, o mais latente no momento são os (baixos) índices de atendimento da população pelo saneamento básico. Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2018), menos de 43% dos municípios acompanhados pelo órgão fazem tratamento de esgoto, conforme mostra a Figura 2.4. O esgoto não tratado é lançado nos corpos hídricos provocando adição de substâncias que degradam a qualidade da água e prejudicam ecossistemas locais. Neste contexto, foi sancionado esse ano o Marco Civil do Saneamento com o principal objetivo de universalizar e qualificar a prestação de Serviço no Setor.

Figura 2.4 – Índice de atendimento de coleta de esgoto nos municípios em 2016 (%)



Fonte: ANA, 2019

O Marco Civil do Saneamento, instalado pela Lei nº 14.026 de 2020, transforma a ANA na agência reguladora do saneamento e assegura, de forma juridicamente clara, a possibilidade de a municipalidade contratar empresas privadas para os serviços de saneamento ambiental. Ainda tem como meta: atender 99% da população com água tratada até dezembro de 2033; atender 90% da população com coleta e tratamento de esgoto até dezembro de 2033; ações para diminuição do desperdício de água e aproveitamento da água da chuva. A previsão é que o Novo Marco Civil atraia o investimento privado para o setor e dê fôlego para o aumento de cobertura e eficiência dos gastos com saneamento. Do ponto de vista social a previsão é atender de forma adequada a população com saneamento básico, melhorando a qualidade de vida e diminuindo as doenças que têm a água como vetor. Do ponto de vista ambiental a previsão é diminuir o descarte de efluentes recuperando bacias

hidrográficas e proporcionando a preservação ambiental, além de melhorar a eficiência na utilização da água. (BRASIL, 2020).

No contraponto das previsões, alguns especialistas afirmam que o Marco Civil do Saneamento tem apenas um viés econômico, e mesmo assim questionável, já que empresas privadas têm como princípio a geração de lucro e isso se dará pelo aumento do preço da água, ou redução do dinheiro investido no negócio. O BNDES garantiu de forma pública verba para financiar os investimentos, contudo isso poderia ser feito também para as autarquias municipais/estaduais, além do mais não houve uma discussão aberta à sociedade sobre o assunto, a legislação anterior já permitia a terceirização dos serviços, mesmo que por um caminho diferente. Na “privatização da água” há a tendência de aumento do valor da tarifa da água para usuários, já que ela incluirá a lucratividade da empresa, e isso poderá inviabilizar o consumo de água para parte da população. Há ainda a tendência observada mundialmente de estatização dos sistemas de saneamento básico (HELLER; NETTO, 2020).

2.3 Principais Parâmetro na Classificação

A Resolução CONAMA nº 357 (BRASIL, 2005) classifica as águas em classes, de acordo com a qualidade requerida para o seu uso preponderante; classe especial, classe 1, classe 2, classe 3 e classe 4. E estabelece limites individuais para cada substância em cada classe.

Inúmeras regiões, urbanas e/ou rurais, não possuem infraestrutura adequada à ocupação e, como mais um reflexo do desordenamento, estabelece uma clara relação com a lacuna do Saneamento Básico. Ressalta-se que o saneamento básico no Brasil pode ser resumido como sendo um conjunto de medidas visando a preservação das condições do meio ambiente que também promova bases seguras de saúde pública. A Lei Federal 11.445/2007, define o Saneamento Básico como o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de esgotamento sanitário, abastecimento de água, gerenciamento de resíduos sólidos e drenagem de águas urbanas pluviais.

Complementarmente, o “Atlas Esgotos: despoluição de bacias hidrográficas” (ANA, 2017) indica que a qualidade das estações de tratamento de esgoto (ETEs), no Brasil, também não é sempre adequada, já que apenas 14% dos municípios conseguem produzir efluentes que atendam à Resolução CONAMA nº 430/2011 (CONAMA, 2011) no que concerne, por exemplo, à remoção de no mínimo 60% da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). Isso pode ser considerado um indicativo que mesmo em regiões que existe o manejo de

contaminações, ainda há o risco que a poluição se efetiva ao longo do tempo, considerando que a autodepuração dos corpos d'água são variáveis e podem possuir uma capacidade máxima de resiliência da qualidade ambiental.

As primeiras estações de monitoramentos instaladas no Brasil eram hidrológica (pluviométricos ou fluviométricos) e começaram a ser instaladas no final do século XIX, inicialmente pelo setor privado. No século seguinte, embalado pelo combate à seca e pela construção de barragens para geração energia, o número de estações se multiplicaram, inclusive governamentais, e foi então criada a Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), oferecendo dados quantitativos das águas. A partir de 1970, postos e parâmetros de monitoramento qualitativo da água foram integrados à rede RHN. Os principais parâmetros quantitativos monitorados pela RHN são aqueles realizados por sonda multiparamétricas, tais como: potencial de Hidrogênio (pH), temperatura, oxigênio dissolvido (OD), turbidez e condutividade elétrica. E no ano 2000 a RHN foi incorporada à ANA, passando à ANA a responsabilidade de armazenar, processar, interpretar e divulgar os dados quantitativos e qualitativos para todos os envolvidos na gestão de recursos hídricos. (ANA, 2007).

Além dos dados da RHN, compõem a base de dados da ANA os dados de qualidade de água provenientes das redes de monitoramentos estaduais, normalmente através das companhias ambientais estaduais, por exemplo a CETESB no estado de São Paulo. Contudo cada estado tem a sua lista de parâmetros, frequência e métodos de coleta e análise, de forma que os dados gerados não estão padronizados, dificultando assim o tratamento. Em 2013 foi lançado pela ANA a Rede Nacional de Monitoramento de Qualidade de Água (RNMQA), tendo como um dos objetivos padronizar procedimentos de definição de pontos de coleta, coleta e análise de forma que os resultados também sejam padronizados. Podemos compreender que os parâmetros de monitoramentos de qualidade de água estão em fase de implantação em nível nacional. A última consolidação de dados trabalho com os parâmetros: *Escherichia coli* (*E. coli*) como parâmetro microbiológico e OD, fósforo total, condutividade, turbidez e Índice de Qualidade das Águas (IQA) como parâmetros físico-químicos (ANA, 2014).

A *E.coli* é uma bactéria encontrada na flora intestinal dos humanos, o aumento de concentração na água indica a poluição por esgoto doméstico e inutiliza a água para diversos uso, como o abastecimento. O OD é a quantidade de oxigênio disponível na água que dará suporte à vida aquática e a processos naturais, além da capacidade de autodepuração, a oxidação de carga orgânica consome o OD da água. O fósforo é um nutriente que pode

acarretar a eutrofização e inutilizar a água para diversos usos, como abastecimento e a algumas formas de vida aquática. Condutividade Elétrica é a quantidade de íons condutores de eletricidade, são provenientes de componentes de rocha e solo (fontes naturais) ou de esgoto e fertilizantes (fontes humanas). A turbidez é a quantidade de material particulado em suspensão e, assim como a Condutividade Elétrica, pode ser proveniente da solo erodidos (fontes naturais) ou esgoto e nutrientes (fontes humanas). E o IQA é um índice construído para facilitar a visualização da qualidade da água sintetizando valores de 9 parâmetros: pH, OD, DBO, coliformes termotolerantes, nitrogênio total, fósforo total, sólidos totais e turbidez (ANA, 2019).

O IQA foi desenvolvido e adaptado ao Brasil pela CETESB a partir de um estudo da “National Sanitation Foundation” dos Estados Unidos. Ele condensa informação de 9 parâmetros, peso relativo e condições escolhido por especialistas, e consegue transmitir informações da qualidade das águas mesmo para pessoas sem o conhecimento técnico de parâmetros físico químicos, permitindo ações de planejamento e gestão sustentável da qualidade das águas nos mais diversos níveis, além da importância social, pois como é possível ver na Tabela 2.1, democratiza a informação permitindo a compreensão, análise e debate popular, independente o nível ou área de instrução das pessoas (CETESB, 2019).

Tabela 2.1 – Classificação IQA

Categoria	Ponderação
ÓTIMA	$79 < \text{IQA} \leq 100$
BOA	$51 < \text{IQA} \leq 79$
REGULAR	$36 < \text{IQA} \leq 51$
RUIM	$19 < \text{IQA} \leq 36$
PÉSSIMA	$\text{IQA} \leq 19$

Fonte: CETESB, 2019

A simplicidade dada pela comunicação visual do IQA e a facilidade do alinhamento em torno de um único parâmetro tornou ele o principal indicador qualitativo utilizado pelos estados e pela ANA, através da RNQA. Consequentemente, também o principal indicador para comunicar a qualidade da água à população.

2.4 O Monitoramento das Águas Superficiais no Brasil e o Importante Papel dos Relatórios Públicos

Todos os impactos ocorridos dentro da área de abrangência de uma bacia hidrográfica podem ser detectados no monitoramento da qualidade da água. O escoamento da água, normalmente proveniente das chuvas, arrasta as substâncias para os corpos hídricos e alteram suas características originais. (FRAGA, 2019).

Fatores naturais, como erosão, vão alterar parâmetros físicos e/ou químicos da água. A utilização do solo para agricultura, pode ser detectada com o aumento de substâncias orgânicas nas águas. O adensamento demográfico pode provocar o aumento de metais. O descarte de efluente, mesmo que doméstico, sem tratamento irá alteração de parâmetros químicos (ANA, 2019). Dessa forma, o monitoramento da água transcende a ideia de limite de cada substâncias, alcança a complexidade dos impactos da interação das atividades antrópicas com o clima, o solo e outras especificidades locais, fomentando a definição de políticas ambientais ou o PNMA.

À medida que as expansões urbanas aumentam, há a possibilidade de ocupação de áreas vulneráveis devido às características hidrogeológicas e geotécnicas dos locais (LEITE; AWAD, 2012). Ainda devido à ocupação não planejada, é possível que seja observada a geração de inúmeros prejuízos à saúde humana e aos ecossistemas em referência à poluição de solos e águas, que provocam diretamente a perda da qualidade de corpos hídricos.

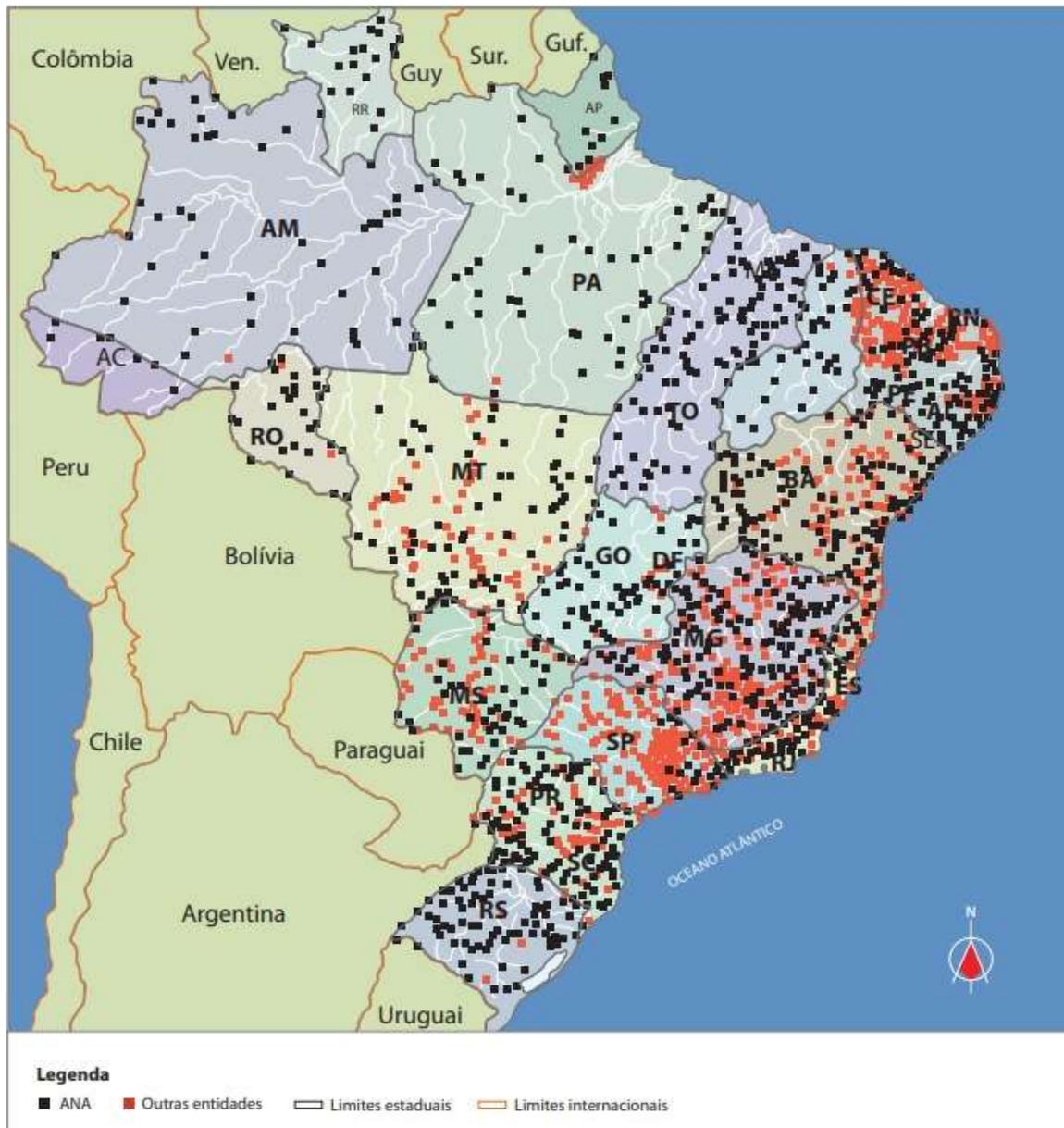
O monitoramento da qualidade de águas superficiais deve ser estabelecido utilizando as bases de enquadramento de classes da Resolução CONAMA nº 357/2005. A obtenção de dados físico químicos e microbiológicos possibilita não só que a qualidade da água seja observada, permite ainda que sejam realizadas modelagens de autodepuração, bem como estabelecimento de outras bases exploratórias, descritivas e explicativas, que suportariam a decisão de gerenciamento de BH.

O monitoramento de água é um conjunto de leituras e registro das características da água no decorrer do tempo. Para isso é necessário estabelecimentos dos parâmetros a serem monitorados, padronização dos procedimentos de coleta e metodologia de análise, além da definição dos locais de monitoramento ou coleta. O objetivo é obter amostras com representatividade espaço-tempo, ou seja, a amostra coletada, ou o ponto de leitura, possa representar as características de toda área de cobertura daquele ponto de monitoramento, e também todas as variações de qualidade que ocorre com o tempo, sejam elas por causas naturais ou antrópicas (POZZA; SANTOS, 2015).

Os desafios listados, relacionado ao monitoramento, são tantos que a ANA instituiu um Programa Nacional de Qualidade de Água (PNQA) para fortalecer o monitoramento e difundir o conhecimento por todos os integrantes da RNMQA, embora todos os 27 estados tenham acordos de cooperação técnica com a ANA, apenas 17 deles possuem rede de monitoramento já instalada e, na maioria dos estados a rede não cobre todo o território. As principais ações em implementação são: padronizar procedimentos e parâmetros para que os dados de diferentes regiões possam ser comparados, instituir processo de definição de ponto de análise para ampliar e otimizar a cobertura da rede, programas interlaboratoriais para acreditação dos processos internos dos laboratório através da comparação com outros laboratórios aumentando a confiabilidade e padronização, difundir conhecimento e experiência adquirida para eliminar brechas nas áreas de coberturas e aumentar a eficiência dos investimentos em para os estados que ainda estão em fase de implantação de sua rede de monitoramento (ANA, 2014b).

A rede de monitoramento gerida pela ANA, como visto na Figura 2.5, é a mais completa, pois inclui pontos de monitoramento da ANA e de outras entidades, como as companhias ambientais estaduais, por exemplo a rede de monitoramento da CETESB. Além de incluir pontos de monitoramento hidrológicos e pontos de monitoramento da qualidade da água.

Figura 2.5 – Rede de monitoramento de água pela Agência Nacional das Águas



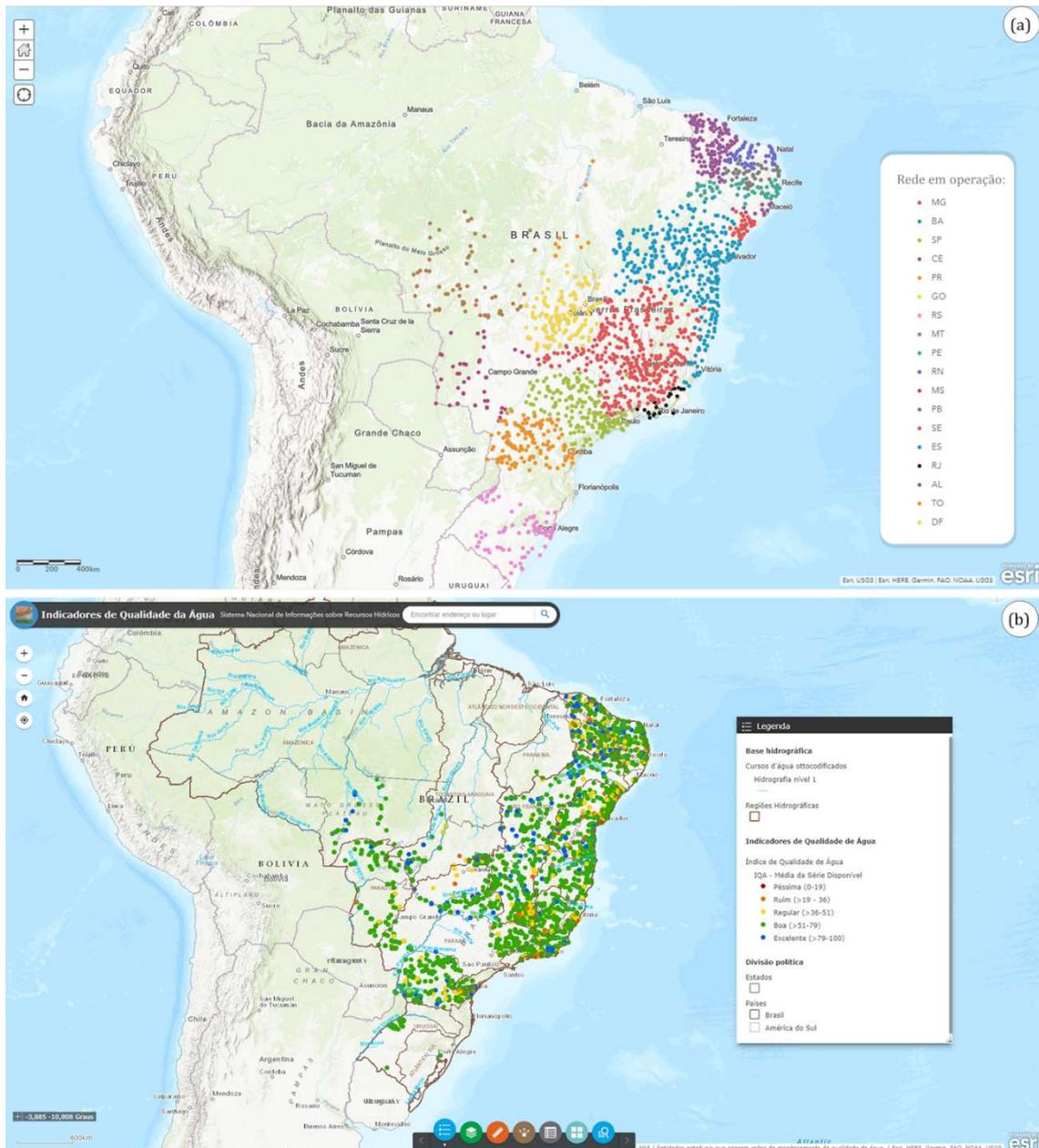
Fonte: ANA (2013) adaptado

A rede de monitoramento é uma importante ferramenta para abastecer com dados o sistema de gestão de recursos hídricos, o objetivo é promover o conhecimento público da situação e qualidade das águas, e gerar informações que subsidiem tomadas de decisões como: definição de áreas críticas de poluição, tendência da qualidade das águas, avaliação das ações de gestão de recursos hídricos, políticas públicas para recuperação de corpos hídricos e BH, e de sustentabilidade (ANA, 2013).

Analisando os mapas interativos fornecidos pelos sites da ANA (Figura 2.6 a) e do Sistema Nacional de informações de Recursos Hídricos (Figura 2.6 b), pode ser percebido

que a rede de monitoramento não funciona até o ano de 2017 de maneira a integrar áreas da região Norte brasileira.

Figura 2.6 – Mapas interativos gerados por plataformas ESRI on-line com destaque aos pontos de monitoramento de qualidade de água da ANA (a) e um exemplo de dados fornecidos com geração de Índice de Qualidade de Água (IQA) (b).



Fonte: ANA (a) <http://dadosabertos.ana.gov.br/datasets/> e SNIRH-ANA (b) <https://portall.snirh.gov.br/ana/apps/webappviewer/index.html>.

O relatório Conjunturas dos Recursos Hídricos no Brasil divulgado anualmente pela ANA, órgão central da gestão de recursos hídricos, é considerado o mais importante, pois é

referência no acompanhamento da situação das Águas no Brasil e subsidiado pelas informações armazenadas da base do SNIRH, isto é, condensa as informações de todas as instituições relacionadas à Gestão de Águas e Agências Ambientais Estaduais, ex. CETESB.

Um segundo relatório de relevância internacional é publicado pela própria ANA, o ODS6. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) são 17 metas acordados em 2015 entre os Estados-Membros para implementação da Agenda 2030 da ONU. Através dos indicadores é possível ter um panorama global da evolução e acompanhamento da agenda em todos mundo. Embora a água tenha perspectiva em a vários objetivos, ela tem um objetivo individual, o ODS6 reuni 8 metas, demonstradas na Figura 2.7, que monitoram a gestão sustentável dos recursos hídricos e sua disponibilidade (ANA, 2019).

Figura 2.7 – Objetivo de Desenvolvimento Sustentável número 6 e suas metas



Fonte: ANA, 2019

A Figura 2.7 mostra que o ODS6 tem como objetivo água limpa e saneamento, para isso instituiu e monitora indicadores como: água potável para todos, saneamento para

todos, melhoria na qualidade de água, uso eficiente da água, gestão integrada dos recursos hídricos, proteção e restauração de ecossistemas, cooperação internacional, apoio e fortalecimento a participação local.

Os dados e informações divulgados pelo SNIRH mostram que a rede de monitoramento da ANA já instalada no Brasil, permite o acompanhamento e o levantamento de alteração físicas, químicas e biológicas da água. Contudo, há fragilidade e com alguns *gaps*. Além dos desafios relacionados à definição de local e padronização de procedimentos de amostragem, ou seja, representatividade, a rede de monitoramento brasileira não tem homogeneidade dos parâmetros de análise nos diversos pontos de monitoramento (ANA, 2013), dificultando uma visão nacional de qualidade de água.

Com o avanço dos sistemas de inteligência artificial, tem-se buscado modelos matemáticos para monitoramento de poluição difusa. Obviamente os desafios são enormes para reproduzir em modelos matemáticos o comportamento e as interações ambientais naturais e antrópicas, considerando todas as variáveis, como solo, vegetação, uso do solo, ciclo hidrológico, vento, iluminação solar e atividades antrópicas, entre outros. Contudo uma boa série histórica de dados é fator preponderante para construção e aplicação dos modelos matemáticos. (FERREIRA et al, 2018). Os modelos matemáticos permitem criar cenários para estudo e planejamento de ações de redução dos impactos ambientais, promovendo o melhor uso múltiplo e preservação para as gerações futuras.

Outra tecnologia promissora para a área é o sensoriamento remoto, ou Hidrologia Espacial como é chamada dentro da ANA. Essa tecnologia a partir de sensores multiespectrais em satélites obtém a informação sem que haja visita presencial à área, os dados óticos são tratados por sistemas computacionais para especificamente desenvolvidos para o cálculo da informação desejada.. Ainda está em fase de desenvolvimento em larga escala no Brasil, mas tem-se conhecimento de algumas iniciativas e pesquisas individuais.

O Programa Hidrológico Internacional (PHI) da Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura (UNESCO) lançou, em 2108, o Portal da Qualidade da Água Mundial. Esse portal tem o objetivo de fortalecer a divulgação de informações para gestão sustentável dos recursos hídricos e a tomada de decisões baseadas em análise científica tendo em vista a ODS 6, através do sensoriamento remoto para obtenção de dados. No Brasil a ferramenta cobre somente o reservatório de Itaipu e a Bacia do Rio Paraná, que também compreende a Argentina e o Paraguai. Junto com outras bases de dados esse programa compõe o Relatório Mundial sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos (ONU, 2018).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo apresenta de forma detalhada como o estudo foi conduzido em termos de metodologia e materiais utilizados. As figuras e informações empregadas nesse trabalho foram utilizadas com autorização da empresa. A seguir será apresentado a empresa em estudo, os gargalos e a metodologia da pesquisa desenvolvida.

3.1 A Empresa de Estudo

A CETESB foi criada em 1968, a foto poder ser vista na Figura 3.1, inicialmente como Centro Tecnológico de Saneamento Básico com a missão de controlar, fiscalizar, monitorar e licenciar atividades poluidoras, visando a preservação e recuperação da qualidade das águas, do ar e do solo. Então, em 2009, foi lançada a Nova CETESB, sobre as fundações da antiga instituição, dando a ela atribuições e organização institucional condizentes com uma Agência Ambiental.

Figura 3.1 - Do lado esquerdo: foto da CETESB em sua criação. Do lado direito: Foto atual do prédio principal da CETESB



Fonte: site CETESB

Como Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, a CETESB passou a ser uma das instituições referência para questões ambientais da ONU, integrante da Organização Mundial da Saúde (OMS) para questões de abastecimento de água e saneamento e consultoria e referência para o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) para questões ligadas a resíduos perigosos na América Latina. A CETESB sempre esteve na dianteira tecnológica com alta produção técnica, essa tradição dificulta a utilização de dados que não são de sua própria produção, a pesquisa trouxe um olhar horizontal sobre o monitoramento com a proposta de otimização da utilização dos resultados dos relatórios de monitoramento das águas para aprimoramento de práticas e evolução do sistema de gestão de recursos hídricos.

Atualmente a CETESB possui 287 pontos de amostragem de água, 13 pontos de monitoramento automático, 33 pontos de amostragem em praias e reservatórios e 23 pontos de amostragem para análise de Sedimento. Assim, monitora praias, águas de interior, águas costeiras e águas subterrâneas. Emite semanalmente o Relatório de Balneabilidade para praias e reservatórios utilizados para lazer, publica o Relatório de Qualidade de Águas Costeiras do Estado de São Paulo anualmente, o Relatório de Qualidade das Águas Subterrâneas bianualmente e o Relatório de Qualidade de Águas Interiores anualmente, e mantém o InfoÁGUAS, sistema de informação que disponibiliza os valores de parâmetros de água monitorados, desde 1975, utilizados nos relatórios.

3.2 Metodologia da Pesquisa

No presente trabalho foi desenvolvida uma pesquisa teórico-prática utilizando o método científico como base central para seu desenvolvimento. A principal pergunta de pesquisa (hipótese nula) que pautou a investigação da aplicabilidade de dados provenientes de relatórios públicos de monitoramento ambiental: Os dados de relatórios públicos acerca dos aspectos qualitativos e quantitativos da água superficial podem nos fornecer ferramentas para a gestão dos recursos hídricos em bacias hidrográficas?

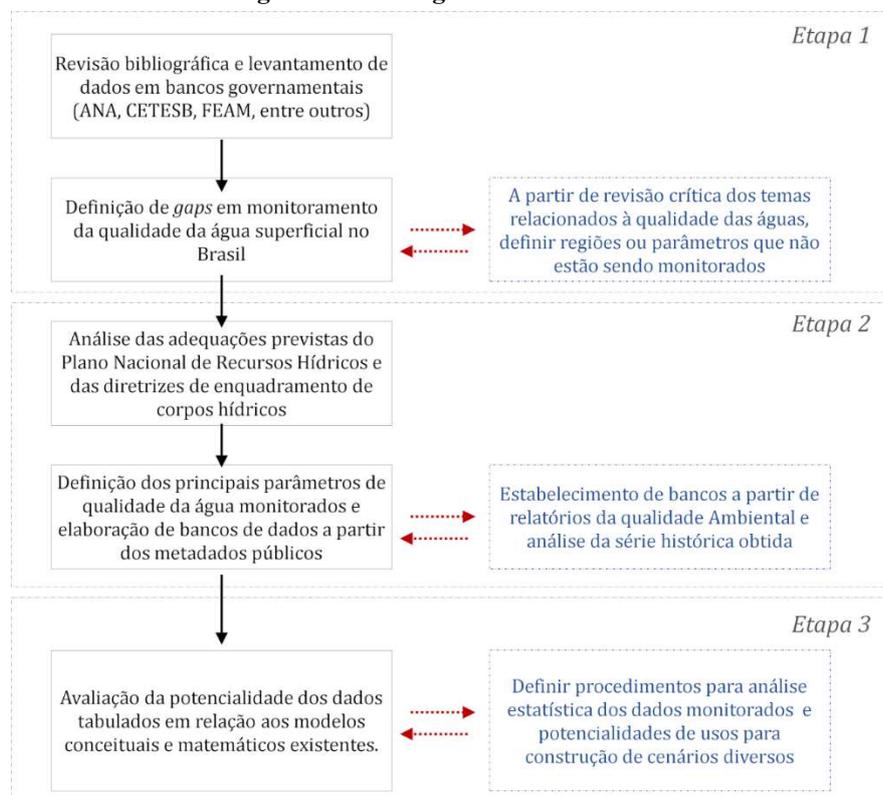
Para alcançar os objetivos específicos foram definidos como principais passos:

- Reconhecer da legislação relacionada aos recursos hídricos entendendo sua relação com fatos históricos, seu poder de transformação da realidade e seu papel para o estabelecimento de políticas ambientais;
- Identificar as principais redes de monitoramento entendendo suas dificuldades e a importância da relação entre elas para a formação de uma rede nacional que trabalhe como uma rede única de monitoramento e fonte de dados;
- Conhecer o principal relatório de monitoramento de qualidade e sua importância como fonte de informação para gestão de recursos hídricos;
- Entender o contexto e importância do monitoramento para todos os sujeitos envolvidos;
- Definir região para levantamento e análise dos parâmetros qualitativo e quantitativo de qualidade de água;
- Conhecer pontos de monitoramento e parâmetros de monitoramentos utilizados pela CETESB e sua relevância para o monitoramento e manutenção do meio ambiente natural;

- Conhecer pontos de monitoramento e parâmetros de quantidade de água na bacia hidrográfica monitorados pelo DAEE;
- Levantar dados de monitoramento de água armazenado pela CETESB no portal InfoÁGUAS, e aplicar a metodologia para medição de qualidade de água (IQA);
- Levantar dados de monitoramento quantitativo de água no Banco de Dados Hidrológicos do Portal do DAEE;
- Organizar os dados de forma que possam ser estabelecidas correlação entre dados quantitativos e qualitativos, e representem o ciclo histórico de qualidade de água;
- Estabelecer correlação matemática que represente o comportamento da qualidade de água em relação à quantidade de água e possam ser utilizados no gerenciamento de recursos hídricos, modelagem para gestão de recursos hídricos e licenciamento ambiental, e cálculos e previsões de comportamentos ambientais.

No fluxograma da Figura 3.2 pode ser visualizado as principais atividades realizadas no projeto, sendo algumas das principais etapas simplificada a seguir.

Figura 3.2 - Fluxograma das atividades



Fonte: do próprio autor

Esse estudo utilizou como base dos dados dos relatórios anuais de águas de interior da CETESB e da ANA de 1975 a 2019. Na Etapa 1, sumariamente, foram levantados os *gaps* principais existentes para o monitoramento da qualidade das águas superficiais. Assim, revisão bibliográfica e o conhecimento do estado da arte foram ferramentas essenciais ao encaminhamento do estudo. Nessa etapa foram definidos como população da análise todos os estados que possuem pontos e resultados de análise de qualidade das águas. Através dos dados fornecidos pelo SNIRH e do relatório de Conjuntura, de responsabilidade da ANA e das instituições associadas. O relatório Conjuntura 2019, utilizado nessa análise, é o relatório mais atual, e condensa dados da ANA, CETESB e Agências Ambientais de outros estados. Nessa primeira etapa foi analisado apenas o relatório e dados referente ao ano de 2019, por mostrar o cenário da realidade.

Na Etapa 2, foram analisadas as alterações possíveis do novo Plano Nacional de Recursos Hídricos e análise dos relatórios já publicados até o momento. Com a seleção dos documentos de interesse, foram procedidas a tabulação, organização e testes preliminares para definição de parâmetros a serem explorados. Nessa etapa foram levantados dados dos relatórios da ANA e CETESB desde 1975.

E finalmente, na Etapa 3, foram realizadas avaliações da potencialidade de uso de tais, incorporação de outros bancos de dados e definição das metodologias complementares de tais como definição de diagnóstico e predição de cenários ambientais. O objetivo do trabalho é usar a maior base de dados possível, por isso os dados fornecidos pela ANA, que tem papel central na gestão de recursos hídricos, são priorizados, contudo já é sabido a heterogeneidade dos mesmo e, na impossibilidade de agrupamentos maiores, serão utilizados dados do estado de São Paulo, também divulgados pela ANA, mas em sua maioria produzidos pela CETESB.

A pesquisa é qualitativa utilizando a observação e o agrupamento de dados, obtidos por abordagem indireta, para quantificação e apresentação dos resultados. Os dados serão obtidos a partir de análise documental de relatórios, arquivos técnicos e indicadores dos principais órgãos ambientais gestores de recursos hídricos que refletem o panorama dos recursos hídricos.

Uma das principais agências fornecedoras de dados para este estudo deverá ser a CETESB, uma vez que este órgão público organiza e publica relatórios da qualidade da água superficial, por este motivo possui dados importantes relacionados à localização de pontos já monitorados. Ainda há dificuldades quanto à obtenção dos dados brutos monitorados pela CETESB, mas acredita-se que analisar os relatórios e metadados possam gerar resultados

suficientes para estabelecimento de análises críticas. Por meio de uma análise de componentes principais (PCA), poderão ainda ser definidos os principais parâmetros potencialmente aplicados para construção de cenários de intervenção e cuidados no monitoramento.

Complementarmente aos resultados obtidos pela CETESB, foram analisados os dados de Índices de Qualidade da Água (IQA) produzidos pela Agência Nacional de Águas (ANA). De maneira análoga, uma vez testados os parâmetros para relatórios da CETESB, análises estatísticas foram aplicadas para direcionar a elaboração de cenários específicos.

Para adequação dos pontos a serem discutidos e sua avaliação sobre as áreas sem atendimento de serviços básicos de Saneamento foram consultadas as bases on-line disponíveis do Cadastro Rural (CAR) para áreas rurais, e do “Atlas Esgotos: despoluição de bacias hidrográficas” (ANA, 2017), para áreas urbanas. Além disso, ferramentas para análises de mapas (Arcmap® e Autocad®) para definição de possíveis mapas de concentração a partir de dados dos Relatórios de Águas da CETESB foram utilizadas após o tratamento estatístico inicial dos dados.

3.3 Metodologia de Cálculos

Para o cálculo do IQA foi utilizado a fórmula adequada à realidade brasileira pela CETESB:

$$IQA = \prod_{i=1}^n qi^{wi} \quad (1)$$

Sendo:

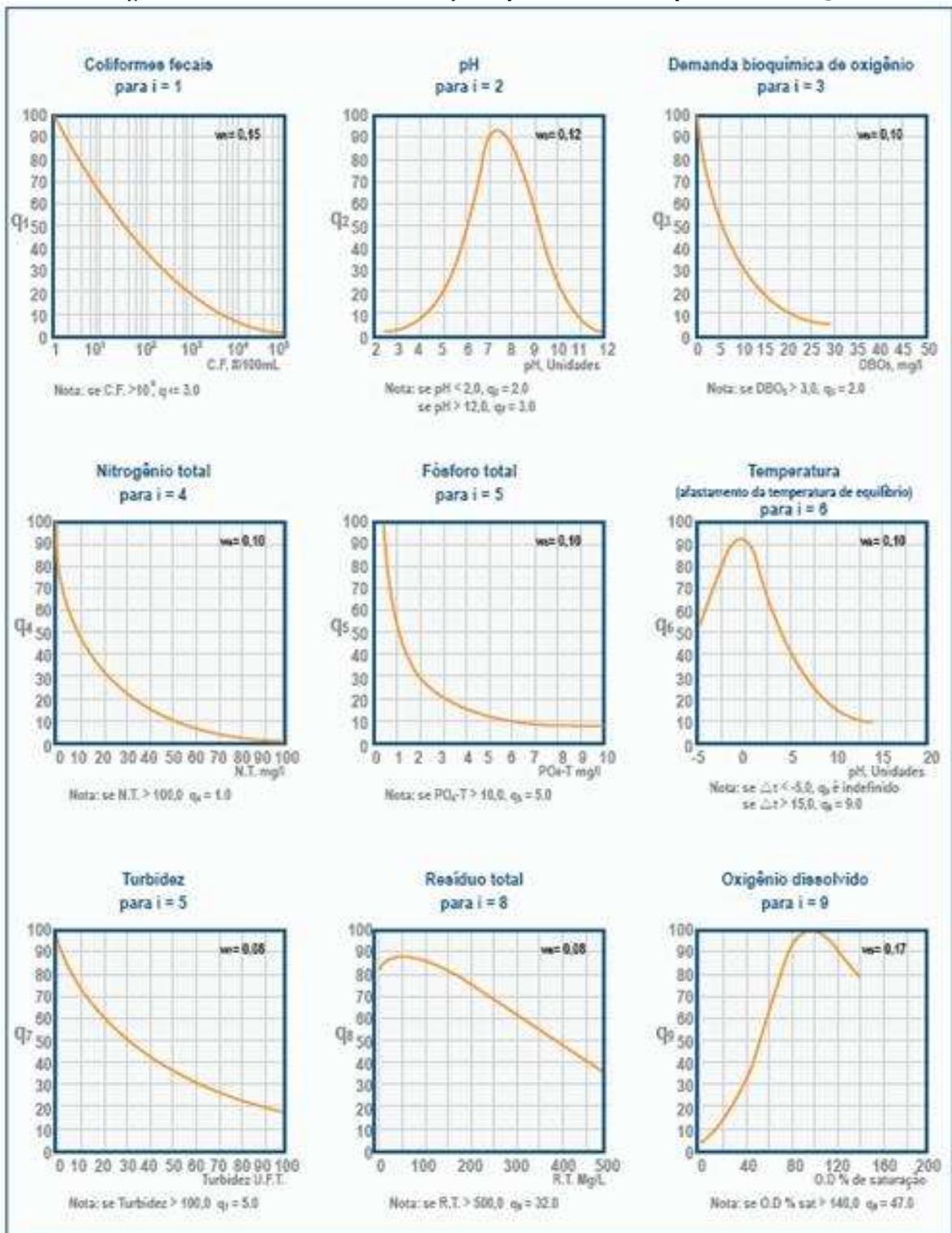
qi = normalização da concentração ou leitura através da “curva média de variação de qualidade”, conforme mostra a figura 4.2, então um valor de 0 a 100;

wi = peso atribuído ao parâmetro em função da sua importância para o valor final de qualidade, então a soma total do peso de cada parâmetro = 1;

n = número de variáveis que entram no cálculo de IQA, ou seja, 9.

Cada um dos parâmetros condensados no cálculo do IQA tem comportamento diferentes e teoricamente independente um do outro. A variação do comportamento em relação à ponderação de cada um dos parâmetros foi utilizada segundo demonstrado nos gráficos da Figura 3.3.

Figura 3.3.3 - Curvas média de variação e qualidade de cada parâmetro do IQA



Fonte: CETESB, 2017.

Foi considerado o valor de Escherichia Coli, parâmetro monitorado pela CETESB, como diretamente equivalente ao valor de Coliformes Fecais, parâmetro original do cálculo

do IQA. Para a conversão de unidade de OD, de mg/L para % de Saturação, foi utilizado a equação (2):

$$\% \text{ Saturação de oxigênio} = \frac{\text{oxigênio dissolvido}}{\text{saturação de oxigênio}} \times 100 \quad (2)$$

A saturação de oxigênio é uma constante que varia em relação à temperatura da amostra. A média dos valores de temperatura, 22,5 °C, foi utilizada como referência para a saturação de oxigênio, o que atribui o valor de 8,6 para a saturação de oxigênio.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Coleta de Dados de Qualidade de Água

Os dados de qualidade de água foram coletados do sistema InfoÁGUAS da CETESB através do portal: sistemainfoaguas.cetesb.sp.gov.br. O sistema InfoÁGUAS é uma iniciativa da CETESB, que visa disponibilizar ao público interessado informações sobre a qualidade das águas no Estado de São Paulo. Através desse portal é possível ter acesso ao histórico de leituras dos todos os parâmetros de qualidade monitorados pela CETESB em cada ponto de monitoramento.

A pesquisa foi feita sobre dados de Águas Superficiais, por Parâmetros, utilizando como filtro a UGRHI – 06 Alto Tietê, que delimita os pontos de monitoramento dentro da bacia do Alto Tietê. A busca trouxe 119 registros, ou seja, 119 pontos de monitoramento, conforme ilustra a Figura 4.1. Para gerar o relatório foi necessário selecionar todos os pontos como de interesse e avançar para os filtros período e parâmetro. O período de busca foi estabelecido de 01/01/1970 a 21/09/2020 e os 9 parâmetros que compõem o IQA: Coliformes, pH, DBO, Nitrogênio Total, Fósforo Total, Temperatura, Turbidez, Resíduo Total e Oxigênio Dissolvido.

Cada busca gera um relatório em formato Excel®, o que levou a 9 relatórios, pois é necessário gerar ao menos um para cada parâmetro, com as seguintes colunas:

- Relacionadas à busca: Período de, Período até;
- Relacionadas à leitura: Data da Coleta, Hora da Coleta, Parâmetro, Sinal, Valor, Unidade;
- Relacionado ao ponto: Código InterÁguas, Tipo de Rede, UGRHI, Código do Ponto, Status do Ponto, Tipo de Parâmetro, Sistema Hídrico, Tipo de Sistema Hídrico, Classe, Município, UF, Início de Operação, Fim de Operação, Latitude, Longitude, Altitude, Localização e Captação.

Após a junção dos dados tem-se um relatório com 26 colunas e 82.620 linhas. Sendo cada linha relacionada a uma leitura de um parâmetro em um ponto em uma determinada data, ou seja, cada leitura tem uma localização temporal e espacial.

Figura 4.1 – Portal InfoÁGUAS: pesquisa de qualidade das águas superficiais por parâmetro

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

Home Águas Subterrâneas Águas Superficiais Mapa Fale Conosco Visualização de Dados Oséias Ribeir

Home / Águas Superficiais / Consultas e Relatórios / Qualidade das Águas Superficiais por Parâmetro

Qualidade das Águas Superficiais por Parâmetro

Pesquisar

Cód.Ponto	Sist.Hidrico	Localização	Data Inicio	Data Fim	Município
ACLA00500	Reservatório Águas Claras	No Pier do Reservatório Águas Claras- SABESP, na Serra da Cantareira.Estrada Sta Inês s/n, junto a EF-09	01/07/2000		CAIEIRAS <input type="checkbox"/>

Fonte: <https://sistemainfoaguas.cetesb.sp.gov.br> (2020)

4.2 Tratamento dos Dados de Qualidade de Águas

Dada a dificuldade de analisar ou comparar a qualidade da água quando envolve diversos parâmetros, foi calculado o IQA por data de leitura, para isso os dados foram organizados por ponto e data através de tabela dinâmica, recurso do Excel®. Contudo, só é possível calcular para os pontos onde há valores de leitura para os nove parâmetros que compõem o IQA.

Da base de dados organizada, 1.535 linhas possuem todos os dados de leitura para o cálculo de IQA, representando os pontos de monitoramento com localização de espaço e tempo, e foram classificadas segundo o padrão da ANA, exposto na Tabela 4.1.

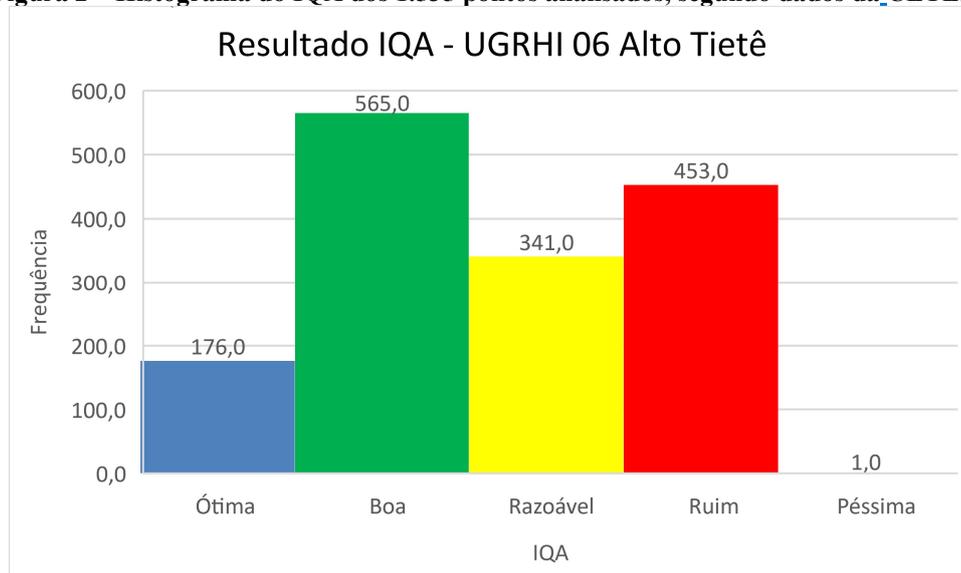
Tabela 4.2 – Classificação IQA

Categoria	Ponderação	Quantidade	%
ÓTIMA	$80 \leq \text{IQA} \leq 100$	176	11,5
BOA	$51 < \text{IQA} < 80$	564	35,7
REGULAR	$36 < \text{IQA} \leq 51$	341	22,2
RUIM	$19 < \text{IQA} \leq 36$	453	29,5
PÉSSIMA	$\text{IQA} \leq 19$	1	0,1

Fonte: ANA, 2019

É possível notar apenas uma leitura na qualidade péssima, há uma grande quantidade de leituras com a classificação ruim (453), porém a maior quantidade de leituras foi classificada como boa (564). A Figura 4.3 ilustra melhor esse comportamento.

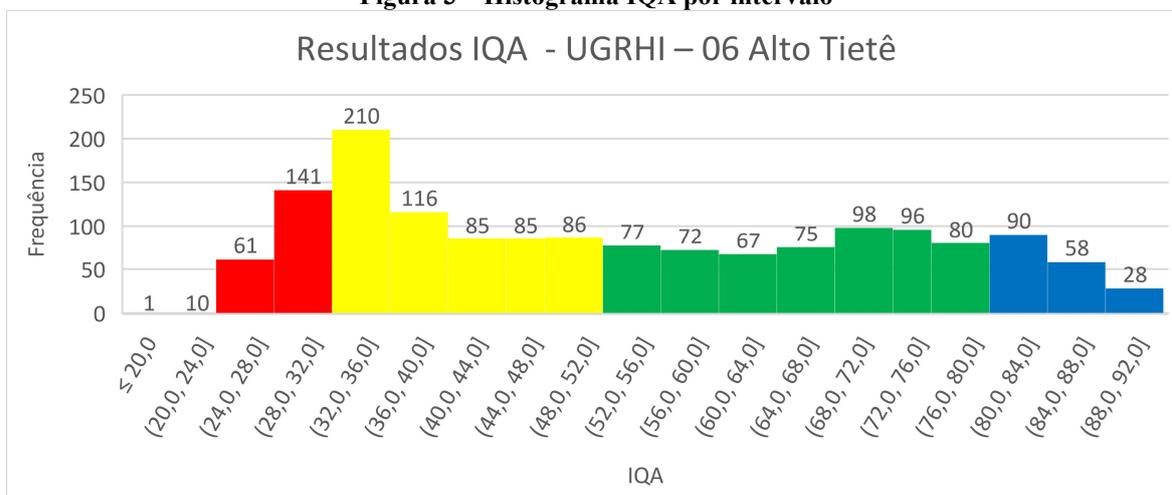
Figura 2 – Histograma do IQA dos 1.535 pontos analisados, segundo dados da CETESB



Fonte: autoria própria

Embora com números muito próximos, há mais leituras classificadas como boa ou ótima do que nas outras classificações, pois a média dos valores de IQA é 53, ou seja, o IQA médio está na categoria de qualidade Boa, mas já está muito próximo à classificação inferior, Regular. Um histograma por intervalo (Figura 4.4) foi realizado para melhor observação da distribuição.

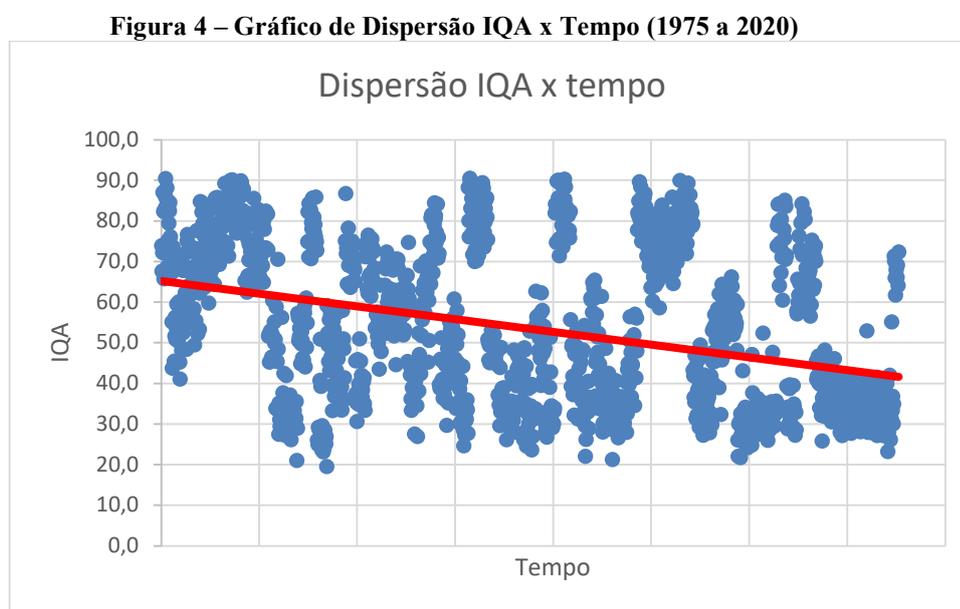
Figura 3 – Histograma IQA por intervalo



Fonte: autoria própria

Na Figura 4.4 é possível observar melhor a distribuição das leituras nos segmentos de faixa dentro da classificação. Com a distribuição em intervalos regulares do IQA é possível notar que a moda, ou seja, o intervalo de resultados com maior frequência de ocorrência é de 32 a 36, classificado como de qualidade Regular, mas o valor é fronteiro à qualidade Ruim. A menor frequência de resultados está no intervalo mais baixo, de valores menores que 20,0, com classificação Péssima.

Como a média de todas as leituras, com variação de espaço e tempo, foi classificado como Boa, mas há um grande volume de leituras com classificação inferiores, os dados foram tratados para avaliar o seu desempenho em relação à variável tempo, como é possível observar na Figura 4.5.



A dispersão de valores em relação ao tempo permite traçar uma linha de tendência, linha vermelha na Figura 4.5, e demonstra uma queda no valor de IQA com o decorrer do tempo. A qualidade de água da UGRHI – 06 Alto Tietê está piorando, então essa bacia está recebendo maior quantidade de efluentes do que sua capacidade de auto depuração da água.

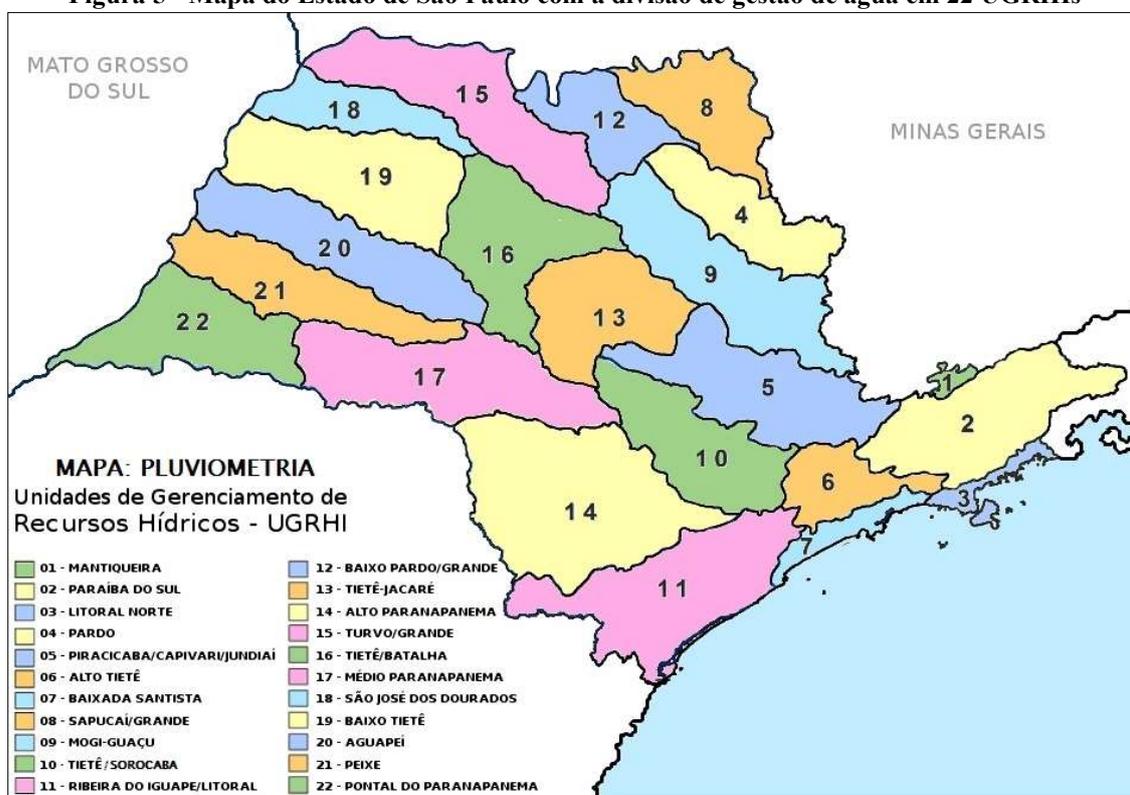
4.3 Coleta de Dados Hidrológicos

Considerando que os dados de qualidade da água podem ter uma relação direta com os volumes de água na bacia hidrográfica e conseqüentemente com a precipitação que a bacia

hidrográfica drena, foi realizada uma primeira análise para determinar o comportamento hidropluviométrico da área de estudo.

Os dados de precipitação foram coletados na plataforma estadual de São Paulo do Departamento de Águas e Energia Elétrica. Nessa etapa de coleta de dados foram consideradas estações que possuíssem dados de precipitação correspondente aos períodos de dados qualitativos da água superficial, ou seja, a partir de 1978. Tais estações estão se localizam na bacia definida para o estudo de caso: a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Alto do Tietê, UGRHI-6, localizadas na Figura 4.6.

Figura 5 - Mapa do Estado de São Paulo com a divisão de gestão de água em 22 UGRHIs

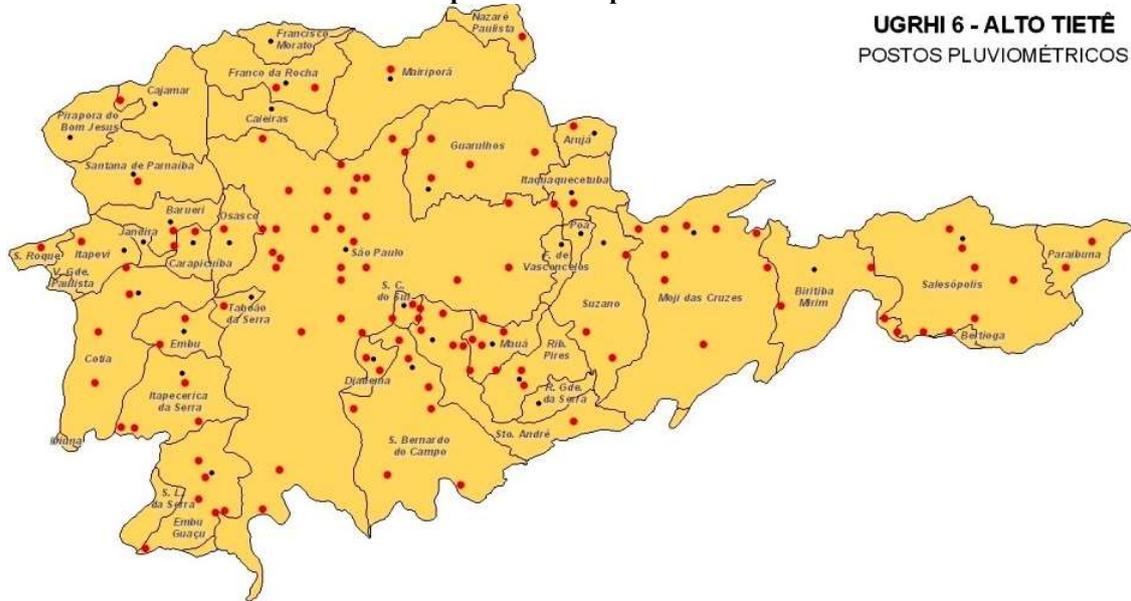


Fonte: http://www.hidrologia.daee.sp.gov.br/CTH.Mapas/index_plu.html.

Vale ressaltar que a UGRHI-6 é uma bacia importante por sua localização (abrangendo a região metropolitana da maior cidade brasileira – São Paulo) e, conseqüentemente, elevada densidade populacional. Fazem parte dessa UGRHI, 34 municípios: Arujá, Barueri, Biritiba-Mirim, Caieiras, Cajamar, Carapicuíba, Cotia, Diadema, Embu, Embu-Guaçu, Ferraz de Vasconcelos, Francisco Morato, Franco da Rocha, Guarulhos, Itapecerica da Serra, Itapevi, Itaquaquecetuba, Jandira, Mairiporã, Mauá, Moji das Cruzes, Osasco, Pirapora do Bom Jesus, Poá, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra, Salesópolis, Santana de Parnaíba, Santo

André, São Bernardo do Campo, São Caetano do Sul, São Paulo, Suzano e Taboão da Serra, como é possível observar na Figura 4.7.

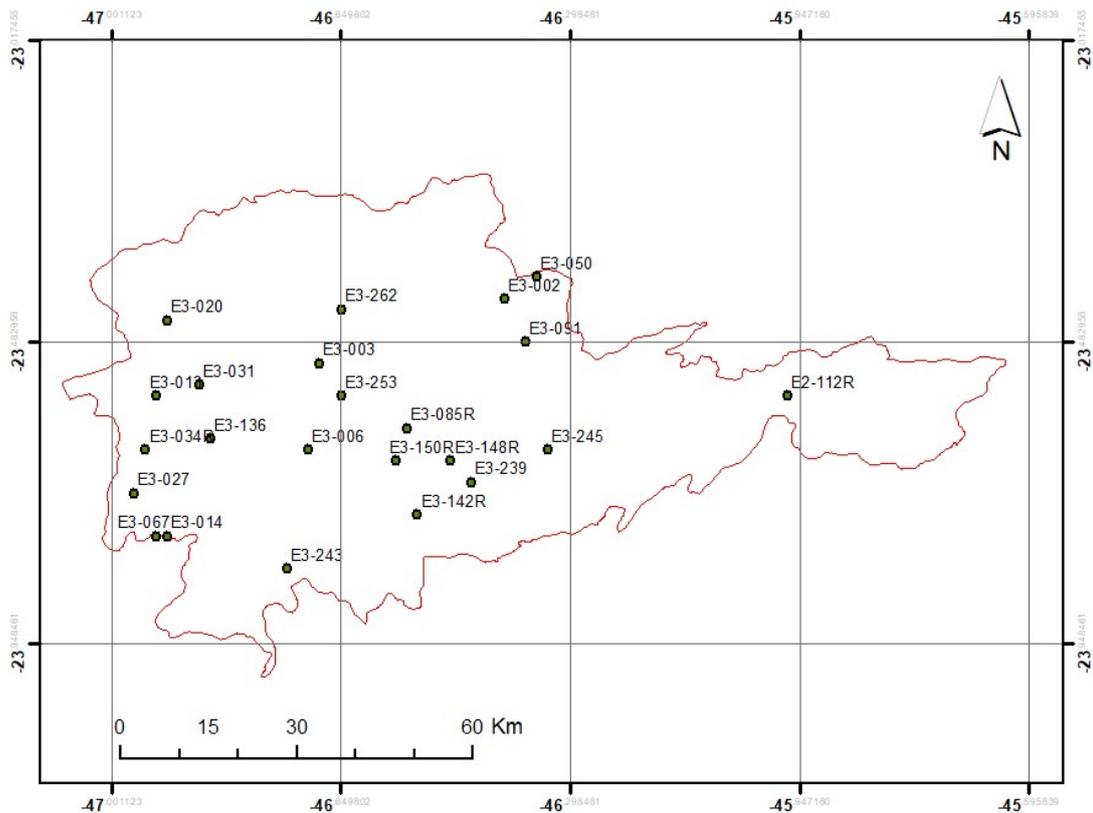
Figura 6 - Mapa de espacialização de todas as estações pluviométricas da região da UGRHI- 6 disponibilizadas pelo DAEE



Fonte: http://www.hidrologia.daee.sp.gov.br/CTH.Mapas/ugrhi_06/ugrhi_06_plu.html.

Muitos postos pluviométricos disponibilizavam dados correspondentes a períodos apenas anteriores aos anos correspondentes aos dados de qualidade da água e não puderam ser coletados. As 25 estações de monitoramento de chuvas que foram escolhidas para a obtenção dos dados foram: E2-112, E2-130, E2-140, E3-002, E3-003, E3-006, E3-013, E3-014, E3-020, E3-027, E3-031, E3-034, E3-050, E3-067, E3-085, E3-091, E3-136, E3-142, E3-148, E3-150, E3-239, E3-243, E3-245, E3-253 e E3-262 (Figura 4.8).

Figura 7 - Mapa de espacialização das estações pluviométricas da região da UGRHI-6



Fonte: autor

Na figura 4.8, a UGRHI-06 é delimitada pela linha vermelha e dentro dela estão localizadas as estações pluviométricas selecionadas, cujos dados foram coletados e utilizados nas análises quantitativa de precipitação e qualitativas da água, através da combinação de dados quantidade de água com os parâmetros de qualidade da água superficial monitoradas.

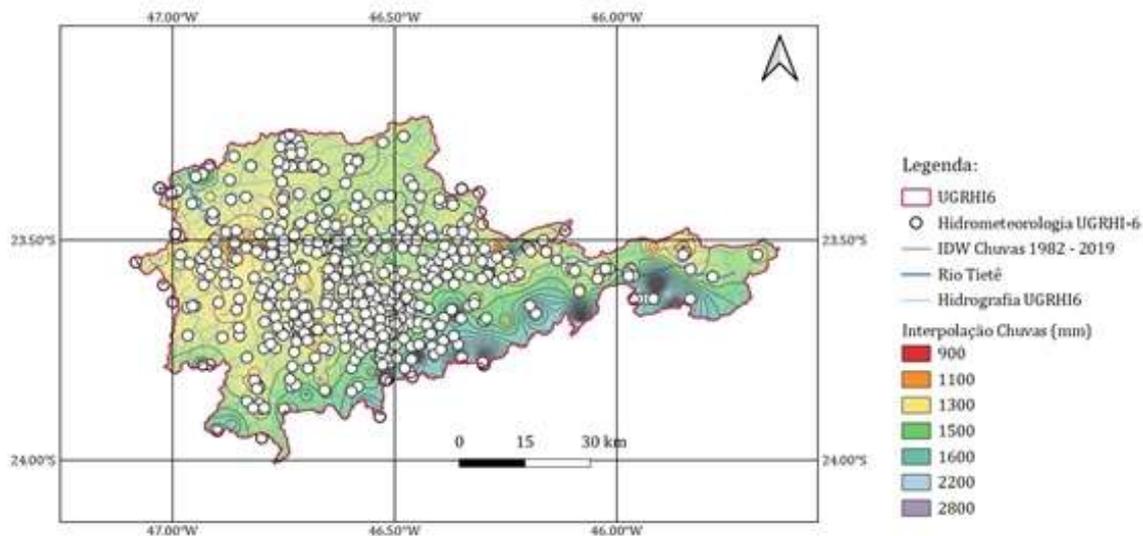
4.4 Tratamento de Dados Hidrológicos

Na coleta de dados hidrológicos foram levadas em consideração o máximo de estações disponíveis representativamente especializadas em toda a bacia e com os menores índices de falhas dos dados. O preenchimento de falhas foi executado utilizando o método de regressão linear.

Seguindo o descrito por Kobiyama et al (2011), no método simples de regressão linear foram utilizados os dados de tempo e precipitação das estações mais próximas para construir um gráfico, ou uma equação que represente o gráfico, capaz de calcular pontos, que foram

plotados e traçada a reta que passa pelos valores médios dos dados conforme ilustrada na Figura 4.9.

Figura 8 – Mapa hidrográfico com interpolação das chuvas



Fonte: próprio autor

Os dados disponíveis de parâmetros de qualidade de águas superficiais foram utilizados para geração de mapas de concentração, utilizando-se como mapa base, o mapa formado pelas isoietas de precipitação correspondente ao ano de coleta representado. Então, os anos selecionados para tais análises ao longo do tempo foram: 1985; 1990; 1994; 1998; 2002; 2005; 2009; 2012; 2016 e 2019. Isso significa dizer que quando o parâmetro qualitativo apresentado for do ano de 1985, a camada interpolada de precipitação também será de 1985 e isso vale para todos os outros anos representados e analisados.

4.5 Ponderações

Após o tratamento dos dados verificou-se que não há dados suficientes de qualidade de água (IQA) para um banco de dados que represente a série histórica, e suficientes para pontos que coincidam em localização temporal com os dados hidrológicos de precipitação, visto que diversos pontos tiveram que ser descartados por falta de cobertura geográfica e/ou temporal.

A análise dos dados levantados mostra que o monitoramento foi interrompido diversas vezes e por longos períodos de tempo. Levando em conta que temos tecnologia que, de

diversas formas, possibilitam o monitoramento sem interrupções significativas, é possível concluir que os órgãos responsáveis enfrentam dificuldades como falta de verbas e/ou falta de mão de obra técnica para manter o monitoramento.

Uma análise das redes estaduais de monitoramento, que constituem a rede da ANA, demonstrou que não há suficiente padronização para comparação de dados entre elas, pois não utilizam mesma metodologia para o estabelecimento de pontos de monitoramento, de escolha de parâmetros de monitoramento, de metodologia de análise do parâmetro e divulgação de dados, além da heterogeneidade de conhecimento, experiência e instrumentos disponíveis.

O PNQA tinha dentre seus objetivos eliminar as lacunas de monitoramento, tornar as informações de qualidade de água comparáveis em âmbito nacional e promover capacitação e acesso à instrumentos para o monitoramento. Passados mais de sete anos do seu início de implantação, temos diversos estados sem rede de monitoramento, redes de monitoramento que não monitoram os parâmetros mínimos recomendados e não há qualquer informação por parte da ANA sobre o estágio de implantação do projeto.

Dessa forma é possível entender que as ferramentas que podem trazer melhorias no monitoramento e na gestão dos recursos hídricos já existem, mas carecem de implantação e na íntegra e manutenção todos os seus requisitos. Para isso sugere-se o fortalecimento das políticas ambientais.

O fortalecimento de política ambientais pode ser feita através da independência das agências ambientais para decisões e investimentos seguindo rigor científico. Isso é possível por ações administrativas e pela implantação de mecanismos que impossibilitem a integrantes do poder executivo remover, realocar profissionais tecnicamente qualificados ou permitir que essas cadeiras sejam ocupadas por não qualificados ou com interesses outros que não a ampliação da capacidade de gestão ambiental do órgão. Maior transparência nos planos, investimentos e resultados por parte das agencias ambientais também ajudaria a trazer as questões ambientais para o centro do debate e seu possível fortalecimento.

5 CONCLUSÃO

O monitoramento das águas pela CETESB começou a ser implantado no estado de São Paulo na década de 1970. Outros estados do Brasil começaram a fazer o monitoramento de águas em seu território de forma independente, baseado no seu próprio conhecimento e experiência. Sem uma gestão federal do monitoramento, o resultado foi a falta de padronização nos parâmetros de monitoramento, o que dificulta, e muitas vezes inviabiliza, a comparação de resultados de qualidade de água.

O processo de monitoramento vem sofrendo melhorias técnicas de procedimento, organização e padronização. Essas se tornaram mais visíveis a partir de 2013 com o início do processo de implantação do PNQA pela ANA. Esse programa sugere a implantação do IQA em âmbito nacional e permite a comparação de resultados entre as diversas unidades federativas e facilita a definição, manipulação e o entendimento da qualidade de água, tanto por parte dos pesquisadores, quanto por parte da população.

Através do Bando de Dados da CETESB foi possível levantar uma grande quantidade de dados relacionados aos parâmetros de qualidade de água. Contudo, tendo em vista a nova referência que utiliza o IQA para análise da qualidade de água, foram encontradas diversas lacunas temporais nos parâmetros, principalmente nos parâmetros de Nitrogênio Total e Análise Microbiológica, que impediram calcular o IQA para todas as localizações geográficas e temporais.

Após o tratamento de dados, menos de 2% dos pontos de monitoramento de qualidade de água puderam ser utilizados, descaracterizando a ideia inicial de montar um banco de dados que pudesse representar o ciclo histórico do IQA e ser utilizado para avaliação ambiental atrelado a variáveis de outros parâmetros, no caso hidrológicos. Esses, levantados através do banco de dados do DAEE-SP, também apresentaram uma série de lacunas temporais.

A análise individual dos valores de qualidade de água através do IQA demonstrou que a qualidade média da água na UGRHI – 06 Alto Tietê é Boa, mas a média esconde a tendência de queda do valor do IQA no decorrer dos anos e uma alta concentração de valores na classificação de qualidade Regular. Contudo é importante ter em consideração que essa análise foi realizada apenas com os pontos que apresentaram dados suficientes para o cálculo do IQA.

Do ponto de vista do monitoramento, ficou nítido, ao trabalhar com os dados, que a implantação do modelo de IQA padroniza o processo de análise e classificação de qualidade

de água, além de facilitar o gerenciamento dos dados e interpretação, pois a informação de diversos parâmetros com intensidades de interferência diferentes é concentrada em um único parâmetro.

Pode-se concluir que o sistema atual de monitoramento é importante para o gerenciamento ambiental das águas, apresenta uma série melhorias, está minimamente estruturado para apresentar resultados que orientem a gestão de recursos hídricos, mas ainda não está tecnicamente maduro para ampliação da utilização de dados dos relatórios de qualidade de água em aplicações complexas.

É necessário o fortalecimento de Políticas Ambientais para que projetos de monitoramento ambiental, como o PNQA, estejam sempre financeira e tecnicamente assistidos eliminando as interrupções. E assim possamos ter um banco com histórico de dados sem interrupções na linha temporal que inviabilizem análises e aplicações mais complexas.

Há também a necessidade de buscar uma congruência no estabelecimento de localização espacial do monitoramento dos parâmetros ambientais, nesse caso qualidade da água e volume de chuva. Isso facilitará a utilização e estudo da interferência das diversas variáveis ambientais no monitoramento de qualidade da água, pois poderão ser relacionados sem a necessidade de tratamento e aproximações matemáticas.

5.1 Recomendações

Embora as lacunas temporais inviabilizaram as análises propostas, essas poderiam eventualmente ser superadas através de estudo específico, que pode ser abordado em trabalhos futuros. Contudo, como está fora do escopo desse trabalho, inviabilizou o objetivo de relacionar a série de dados hidrológicos com a série de dados do ciclo histórico de IQA.

Como sugestão para estudos futuros pode-se propor a utilização de técnicas de Inteligência Artificial, possibilitadas pelo aprendizado de máquina (“*Machine Learning*”) para estudo do comportamento de cada um dos parâmetros, criação de uma curva de referência que permitam simular esse comportamento e composição dos dados faltantes. Estabelecendo assim um banco de dados que represente o ciclo histórico dos valores de qualidade de água e possa ser usado como consulta, fonte de dados em modelagem para gestão de recursos hídricos e licenciamento ambiental, e cálculos de predição para comportamentos ambientais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ACHÉ, L.M. **Políticas Públicas Ambientais**. Política Nacional do Meio Ambiente. Apostila Políticas Públicas Ambientais Volume I. Pós Graduação Latu Sensu. Escola Superior da CETESB. São Paulo, 2018. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/posgraduacao/wp-content/uploads/sites/33/2018/08/Apostila-Políticas-Públicas-Ambientais-Volume-I.pdf>>. Acessado em 30 de jul. de 2020.
2. ANA. Agência Nacional de Águas (Brasil). **Manual de usos consuntivos da água no Brasil**. Brasília: ANA, Brasil, 2019. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/central-de-publicacoes/ana_manual_de_usos_consuntivos_da_agua_no_brasil.pdf>. Acesso em: 13 de jul. de 2020.
3. ANA. Agência Nacional de Águas (Brasil). **ODS 6 no Brasil**. Visão da ANA sobre os indicadores. Brasília, 2019b. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/aceso-a-informacao/institucional/publicacoes/ods6/ods6>> Acessado em 21 de ago. de 2020.
4. ANA. Agência Nacional de Águas (Brasil). **Conjuntura Recursos Hídricos Brasil 2019**. Informe Anual. ANA. Brasília, 2019. Disponível em: <http://conjuntura.ana.gov.br/>. Acessado em 20 de jul. de 2020.
5. ANA. Agência Nacional de Águas (Brasil). **Atlas Esgotos – Despoluição de Bacias Hidrográficas**. ANA. Brasília, 2017.
6. ANA. Agência Nacional de Águas (Brasil). **Cuidando das Águas- Soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos**. ANA, 2º edição. Brasília, 2013.
7. ANA. Agência Nacional de Águas (Brasil). **O Ciclo da Água (Ciclo Hidrológico)**. Youtube. Vídeo. 2014. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=vW5-xrV3Bq4&list=PLdDOTUuInCuz6SWIiQttv0Wf9JnpcWINS&index=4>>. Acessado em 24 de jul. de 2020.
8. ANA. Agência Nacional de Águas (Brasil). **Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas**. 2º ed. Brasília, 2014b. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sge/CEDOC/Catalogo/2013/programaNacionalAvaliacaoQualidade.pdf>>. Acessado em 18 de ago. de 2020.
9. ANA. Agência Nacional de Águas (Brasil). **Panorama da Qualidade das Águas Superficiais do Brasil**. Brasília: ANA, Brasil, 2012.
10. ANA. Agência Nacional de Águas (Brasil). **Evolução da Rede Hidrometeorológica Nacional**. V. 1, n.1, p.1-15. Brasília, 2007. Disponível em: <<https://arquivos.ana.gov.br>>. Acessado em 18 de ago. de 2020.
11. BRASIL. Governo do Brasil. **Novo Marco do Saneamento é sancionado e garante avanços para o país**. Notícias. GOV.BR. Brasília, 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/pt-br/noticias/transito-e-transportes/2020/07/novo-marco-de>>

saneamento-e-sancionado-e-garante-avancos-para-o-pais>. Acessado em 02 de ago. de 2020.

12. BRASIL. Governo do Brasil. **Lei Nº 14.026 de 15 de Julho de 2020**. Diário foicial da União de 16 de julho de 2020. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/L14026.htm. Acessado em 20 de ago. de 2020.
13. BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **CONAMA. Resolução nº 357, de 2005**. Diário Oficial da União nº 053, Brasília, DF, 18 março 2005. P. 58-63.
14. BRASIL. **Lei nº 10.257 de 10 de julho de 2001**. Diário Oficial da União de 11 jul. 2001. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110257.htm>. Acessado em 31 de jul. de 2020.
15. BRASIL. **Lei nº 9.984 de 17 de julho de 2000**. Diário Oficial da União de 18 jul 2000. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9984.htm>. Acessado em 30 de jul. de 2020.
16. BRASIL. **Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998**. Diário Oficial da União de 13 fev. 1998. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=320>>. Acessado em 01 de ago. de 2020.
17. BRASIL. **Lei nº 9.433, de 9 de janeiro de 1997**. Diário Oficial da União de 9 jan. 1997. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm>. Acessado em 16 de jul. de 2020.
18. BRASIL. **Constituição da República Federal do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal, 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm>. Acessado em 30 de jul. de 2020.
19. BRASIL. **Lei nº 9.638, de 31 de agosto 1981**. Diário Oficial da União de 31 de agosto de 1981. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6938.htm>. Acessado em 01 de ago. de 2020.
20. CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (São Paulo). **Sistema InfoÁGUAS**, 2020. Disponível em: <https://sistemainfoaguas.cetesb.sp.gov.br/>>. Acessado em 01 de nov. de 2020
21. CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (São Paulo). **Índices de Qualidade das Águas**. Apêndice D. São Paulo, 2019. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2019/10/Ap%C3%AAndice-D_-%C3%8Dndices-de-Qualidade-das-%C3%81guas.pdf>. Acessado em 20 de ago. de 2020.
22. CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (São Paulo). **Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo**. Apêndice D – Índices de Qualidade das Águas. São Paulo, 2017. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas->

interiores/wp-content/uploads/sites/12/2017/11/Ap%C3%AAndice-D-%C3%8Dndices-de-Qualidade-das-%C3%81guas.pdf>. Acessado em 01 de nov. de 2020.

23. COLLISCHONN, W.; TASSI, R. **Apostila de Hidrologia**. Apostila da disciplina de IPH/UFRGS. Porto Alegre, 2010. Disponível em: <https://banzoengenharia-com-br.webnode.com/_files/200000105-4347a4444b/Hidrologia%20Geral.pdf>. Acessado em 22 de jul. de 2020.
24. DIEGUES, A. C. **Aspectos Sócio-Culturais e Políticos do uso da Água**. Núcleo de Apoio à Pesquisa sobre Populações Humanas e Áreas Úmidas Brasileiras - USP. São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://nupaub.fflch.usp.br/sites/nupaub.fflch.usp.br/files/color/agua.pdf>>. Acessado em 13 de jul. 2020.
25. FERREIRA, D. B; MÜHLENHOFF, A. P.; FERNANDES, C.V.S. Modelos de poluição difusa: desafios, estratégias e impactos para a gestão de recursos hídricos. **REGA**, v.15, e.10. Porto Alegre, 2018.
26. FRAGA, M.S. **Proposta metodológica para avaliação e otimização de redes de monitoramento de qualidade de água**. Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de Doctor Scientiae. Viçosa - MG, 2019.
27. EARLE, S. A. A Terra é Azul . **Editora SESI-SP**. São Paulo, 2018.
28. GROTZINGER, J.; JORDAN, T. Para entender a Terra. 6. ed. Porto Alegre: **Bookman**, 2013.
29. HELLER, L.; NETTO, O.M.C. **Desafios da Universalização do Saneamento Básico e no Novo Marco Legal**. Hidráulica e Saneamento EESC-USP. 2020. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=ZgsWpGYpvLY&feature=youtu.be>> . Acessado em: 29 de jul. de 2020.
30. JADE, L. **Onde está a água do Brasil?**. EBC. Reportagem para o 8º Fórum Mundial de Água. Brasília, 2018. Disponível em: <<https://www.ebc.com.br/especiais-agua/agua-no-brasil/>>. Acessado em: 25 de jul. de 2020.
31. JUNG, T. I. A Evolução da Legislação Ambiental no Brasil. **Âmbito Jurídico**. São Paulo, 2011. Disponível em: <<https://ambitojuridico.com.br/cadernos/direito-ambiental/a-evolucao-da-legislacao-ambiental-no-brasil/>>. Acessado em 01 de ago. de 2020.
32. KOBIYAMA, M. et. al. **Curso de Capacitação em Hidrologia e Hidrometria para Conservação de Mananciais**. 3º Ed. Laboratório de Hidrologia. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2011. Disponível em: <http://www.labhidro.ufsc.br/Artigos/apostila_hidrometria.pdf>. Acessado em: 20 de set. de 2020.
33. LEITE, C.; AWAD, J.C.M. Cidades Sustentáveis, Cidades Inteligentes. **Bookman**, 1º edição. Porto Alegre, 2012.

34. LIBÂNIO, M. **Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água**. 3. ed. Campinas: Átomo, 2010.
35. LIMA, M.G. **Gestão de Recursos Hídricos e Bacias Hidrográficas**. Editora e Distribuidora Educacional Ltda. 192p. Londrina, 2018.
36. LIMA, B.P.; SOARES, M.C. **Aspectos legais e institucionais da gestão de Recursos Hídricos**. Curso de Especialização a Distância em Elaboração e Gerenciamento de Projetos para a Gestão Municipal de Recursos Hídricos no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará. 43p. Fortaleza, 2015. Disponível em: <<https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/bitstream/ana/1036/1/Aspectos%20Legais%20-%20Livro.pdf>>. Acessado em 25 de jul. de 2020.
37. NUNES, M.D.X. **Estudo da capacidade de infiltração em sistemas de recarga artificial de aquíferos contaminados no Distrito Federal**. Dissertação de Mestrado Universidade de Brasília. Brasília, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.unb.br/handle/10482/23585>>. Acessado em 29 de jul. de 2020.
38. ONU. Organização da Nações Unidas. **UNESCO lança ferramenta online para monitorar qualidade da água no mundo**. Site Nações Unidas Brasil. 2018. Acessado em: <<https://nacoesunidas.org/unesco-lanca-ferramenta-online-para-monitorar-qualidade-da-agua-no-mundo/>>. Acessado em 21 de ago. de 2020.
39. ONU. Organização da Nações Unidas. **A ONU e o Meio Ambiente**. Brasil, 2015. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/acao/meio-ambiente/>>. Acessado em 02 de ago. de 2020.
40. PAULA, A. S. Noções sobre a Ação Civil Pública. **DireitoNet**. Artigo digital publicado em 12/ mar/ 2003. Disponível em: <https://www.direitonet.com.br/artigos/exibir/1015/Nocoessobre-aAcaoCivilPublica>. Acessado em 04 de ago. de 2020.
41. POZZA, S. A.; SANTOS, C. **Monitoramento e Caracterização Ambiental**. EdUFSCar. São Carlos, 2015
42. SÃO PAULO. Governo do Estado de São Paulo. **Lei nº 9.509 de 20 de março de 1997**. Diário Oficial 21-3-97. Disponível em: <<https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1997/lei-9509-20.03.1997.html>>. Acessado em 31 de jul. de 2020.
43. SEMANA DE HISTÓRIA DA UEL, 16., 2016, Londrina. **Anais [...]**. Londrina: Departamento de História, Colegiado de História, Programa de PósGraduação em História Social, Especialização em Religiões e Religiosidades e Especialização em História e Patrimônio, 2016. 811p. Tema: O papel do historiador no século XXI. Inclui bibliografia. Disponível em: <<http://www.anais.uel.br/portal/index.php/eventohistoria>>. Acessado em: 31 de jul. de 2020.
44. SNIS. Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto**. Brasília: SNIS. Brasil, 2018. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos>>. Acessado em 05 de ago. de 2020.