

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

APLICAÇÕES DE CONCEITOS DA INDÚSTRIA 4.0 NO PROCESSO DE
ABASTECIMENTO DE ÁGUA POTÁVEL NO BRASIL

PEDRO DE SEIXAS QUEIROZ MERLO

Trabalho de graduação apresentado ao
Departamento de Engenharia Química da
Universidade Federal de São Carlos, para
obtenção do título de bacharel, em
Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Horta

SÃO CARLOS -SP
2022

BANCA EXAMINADORA

Orientador: **Antônio Carlos Luperni Horta, DEQ/UFSCar**

Convidado: **André Bernardo, DEQ/UFSCar**

Professor da Disciplina: **Fábio Bentes Freire, DEQ/UFSCar**

Trabalho de Graduação apresentado no dia 12 de setembro de 2022

AGRADECIMENTO

Agradeço ao Prof. Antônio Horta por aceitar me orientar nesse trabalho e me dar todo apoio necessário e ao Prof. Fabio Freire pela disposição em ajudar. Também agradeço ao Prof. André Bernardo por aceitar compor a banca examinadora.

Aos meus colegas de curso Pablo, Leonardo, Alexandre, Reginaldo, Antônio, Murilo, Ulisses por todo apoio e companhia durante a graduação.

Aos membros que convivi da EQ Júnior por me ajudar a desenvolver profissionalmente.

À toda equipe da Hexis, em especial à Gabriela por me inspirar a desenvolver um projeto sobre saneamento básico.

RESUMO

O déficit de acesso aos serviços de saneamento básico é um problema recorrente para as gestões públicas do Brasil. Existe uma grande parcela da população que não possui acesso às redes de abastecimento de água potável, um direito garantido pela constituição brasileira e pela Declaração Universal dos Direitos Humanos. Em 2020, foi sancionado a Lei Nº 14.026 de 15 de julho, conhecida como “Novo Marco Legal do Saneamento”, que busca, principalmente, universalizar o acesso ao saneamento básico com a meta de 99% da população dentro das redes de cobertura de abastecimento de água potável até 2033. Para que essa meta seja atingida, além da expansão da rede atual, é necessário torná-la mais eficiente, aumentando a qualidade e evitando perdas. Este projeto identificou que o processo atual está defasado em relação às tendências mundiais da indústria 4.0; tecnologias que se implementadas ajudariam na universalização do saneamento aumentando a eficiência do processo e reduzindo os desperdícios. Este estudo apresenta ainda formas de implementar conceitos da indústria 4.0, como internet das coisas e *big data*, no processo de abastecimento de água potável no Brasil, apontando as tendências mundiais elencadas em artigos científicos e documentos de órgãos governamentais e instituições.

Palavras-chave: Água, indústria 4.0, universalização, saneamento

ABSTRACT

The deficit to basic sanitation services is a recurrent problem to public management in Brazil. There is a great part of the population that doesn't have access to drinking water supply networks, a right guaranteed by Brazilian law and the Universal Declaration of Human Rights. In 2020, it was sanctioned the law N° 14.026 of July 15, known as "Novo Marco Legal do Saneamento" that seeks, mainly, the universalization of the access to basic sanitation services, with the goal of 99% of the population having access the drinking water supply networks until 2033. To reach this goal, besides expanding the current water network, it is necessary to make it more efficient, increasing quality and avoiding water loss. This project identified that the current process lags behind global trends of industry 4.0; technologies that, if implemented, would help in the universalization of basic sanitation services by increasing the process efficiency an avoiding waste. This study also proposes ways of implementing concepts of the industry 4.0, like internet of things and big data, in the drinking water supply process in Brazil, exposing global trends listed in scientific articles and documents of institutions and government agencies.

Palavras-chave: Water, industry 4.0, universalization, basic sanitation

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. PORCENTAGEM DA POPULAÇÃO BRASILEIRA SEM ACESSO À ÁGUA POTÁVEL A CADA ANO (2010-2020).....	18
FIGURA 2. PORCENTAGEM DA POPULAÇÃO BRASILEIRA SEM ACESSO À ÁGUA POTÁVEL EM 2020 POR ESTADO.....	19
FIGURA 3. PORCENTAGEM DA POPULAÇÃO BRASILEIRA SEM ACESSO À COLETA DE ESGOTO PARA CADA ANO (2010-2020).....	20
FIGURA 4. PORCENTAGEM DA POPULAÇÃO BRASILEIRA SEM ACESSO À COLETA DE ESGOTO EM 2020 POR ESTADO.....	21
FIGURA 5. PORCENTAGEM DE ÁGUA TRATADA PERDIDA NA DISTRIBUIÇÃO DE CADA ESTADO EM 2020.....	22
FIGURA 6. PROCESSO DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA NO BRASIL.....	24
FIGURA 7. TOMADA D'ÁGUA.....	31
FIGURA 8. TIPOS DE RESERVATÓRIOS.....	46

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. PARÂMETROS E PESOS PARA O CÁLCULO DO IQA	36
TABELA 2. QUALIFICAÇÃO ESTADUAL DO IQA	36
TABELA 3. COAGULANTES E AS RESPECTIVAS FÓRMULAS E FAIXA DE PH	38

LISTA DE SIGLAS

OMS – Organização Mundial da Saúde

ONU – Organização das Nações Unidas

PLANSAB – Plano Nacional de Saneamento Básico

ABCON SINDCON - Associação e Sindicato Nacional das Concessionárias Privadas de Serviços Públicos de Água e Esgoto

SAA – Sistema de Abastecimento de Água

ETA – Estação de Tratamento de Água

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

SAC – Soluções de Abastecimento Coletivas

IoT – Internet of Things – Internet das Coisas

SNIS – Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento

IQA – Índice de Qualidade das Águas

TAS - Taxa de Aplicação Superficial

THM - Triahlometanos

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 OBJETIVOS.....	12
2 REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 SANEAMENTO BÁSICO	13
2.2 HISTÓRIA DO SANEAMENTO NO MUNDO	14
2.3 SANEAMENTO NO BRASIL.....	15
2.4 MARCO LEGAL DO SANEAMENTO E INDICADORES	17
2.5 ABASTECIMENTO DE ÁGUA	23
2.6 INDÚSTRIA 4.0.....	24
2.6.1 Internet of Things.....	25
2.6.2 Big Data	25
2.6.3 Inteligência artificial	26
2.6.4 Drones	26
3 METODOLOGIA.....	28
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	29
4.1 CAPTAÇÃO DE ÁGUA BRUTA.....	29
4.2 ADUÇÃO	32
4.3 ESTAÇÃO ELEVATÓRIA.....	33
4.4 ESTAÇÃO DE TRATAMENTO D'ÁGUA	35
4.4.1 Coagulação.....	37
4.4.2 Floculação	39
4.4.3 Decantação.....	39
4.4.4 Flotação.....	41
4.4.5 Filtração rápida	42
4.4.6 Desinfecção.....	43
4.4.7 Fluoretação.....	44
4.5 RESERVATÓRIOS	45

4.6 REDE DE DISTRIBUIÇÃO.....	48
4.7 PERDAS DE ÁGUA	50
4.8 PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DE CONCEITOS DA INDÚSTRIA 4.0.....	51
4.8.1 Sensores com IoT e tecnologias Big Data.....	52
4.8.2 Inteligência artificial.....	53
4.8.3 Drone.....	55
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
6 REFERÊNCIAS.....	58

1 INTRODUÇÃO

A água é um dos recursos mais valiosos para a vida, em especial ao ser humano, sendo ela fundamental para a sua sobrevivência e para a produção de alimentos, bem como para sua saúde e bem-estar. Hoje, o acesso a água potável é um direito reconhecido por diversos governos e instituições, como a ONU com a Declaração Universal dos Direitos Humanos. Nesse contexto, o ser humano passou a buscar formas de fornecer água em qualidade e quantidade necessárias para abastecer os centros populacionais, desenvolvendo novas técnicas e aprimorando equipamentos. Esse conjunto de técnicas e etapas que visam captar a água no meio ambiente, adequá-la às condições próprias para consumo e distribuí-la a população é chamado de processo de abastecimento de água potável (HELLER; DE PADUA, 2010).

No Brasil, e em outros países, o abastecimento de água é englobado com outros serviços, como esgotamento sanitário, que compõe o chamado saneamento básico, um setor essencial para a sociedade que permite o avanço socioeconômico de uma região. O setor de saneamento no Brasil é, em sua maioria, controlado pelo setor público, com grande presença de companhias ligadas aos governos municipais e estaduais do país (ABCON SINDCON, 2022).

O baixo acesso aos serviços de saneamento básico no Brasil é um problema que afeta negativamente a população de diversas maneiras, como maior propagação de doenças, e maior dificuldade de ascensão econômica. Nesse contexto, em 2020 foi sancionado o chamado “marco legal do saneamento”, que visa, principalmente, universalizar o acesso aos serviços de saneamento básico no Brasil, expandindo as redes existentes e tornando-as mais eficientes (PAGANI; BOCCHIGLIERI, 2021).

O processo de abastecimento de água potável no Brasil não acompanha as tendências tecnológicas mundiais, como por exemplo as tecnologias relacionadas com a 4ª revolução industrial, a chamada indústria 4.0. Muitas dessas tecnologias visam uma maior automação e geração e análise de dados, integrando os subprocessos e maximizando a eficiência como um todo (STANKOVIC et al, 2020).

1.1 Objetivos

O trabalho tem como objetivo elencar possíveis aplicações de tecnologias relacionadas com internet das coisas, *big data*, inteligência artificial e drones no processo de abastecimento de água no Brasil, além de descrever o processo em questão, apresentando suas etapas, equipamentos e técnicas mais utilizadas, bem como problemas e possíveis soluções envolvidas no tema.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Saneamento básico

O saneamento básico possui um papel de extrema importância no funcionamento da nossa sociedade. O Ministério da Saúde do Brasil define saneamento básico como o conjunto de ações socioeconômicas que possuem como objetivo alcançar níveis crescentes de salubridade ambiental (BRASIL, 2002).

O saneamento básico compreende, principalmente, a captação, tratamento e distribuição de água, chamado de abastecimento de água, e a coleta, tratamento e descarte de efluentes e resíduos sólidos, chamado de esgotamento sanitário. Esses dois serviços incluem etapas de tratamentos físicos e químicos, bem como grandes sistemas de tubulações. Os serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário costumam ser ofertados pela mesma instituição, podendo esta ser privado ou público. Em lugares mais populosos, os sistemas de saneamento são centralizados, com redes de tubulações que abastecem a população, coletam esgoto e descartam no meio ambiente, com etapas intermediárias de tratamento. Contudo, em regiões onde há pouca densidade populacional ou graves problemas de infraestrutura, não existe ou, não é possível, instalar essas redes de saneamento, sendo necessário a implementação de técnicas alternativas, como por exemplo o uso de poços artesianos para o abastecimento de água ou fossas sépticas para o esgotamento sanitário (BRASIL, 2021).

Dessa forma, é possível perceber que o saneamento básico é um setor da sociedade que está diretamente relacionado com a manutenção do bem-estar e da saúde humana, sendo responsabilidade dos governos de todos os países a garantia do acesso da população a esses serviços. Locais onde o saneamento é ausente, apresentam grandes problemas relacionados à propagação de doenças e baixa qualidade de vida (MASSA; FILHO, 2020).

Existem diversos problemas relacionados com sistemas de saneamento básico inadequados, sendo o principal deles a disseminação de doenças. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), em 2016 ocorreram 1,9 milhões de mortes no mundo que poderiam ter sido evitadas caso essas pessoas tivessem acesso a um sistema de saneamento adequado. As principais doenças são diarreia, infecções respiratórias agudas, malária e a esquistossomose. Além disso, outro problema relacionado é a ingestão de produtos tóxicos presentes na água. Segundo a OMS, pelo menos 140 milhões de pessoas consomem água

contendo altos níveis de arsênio, composto contaminante de águas subterrâneas (OMS, 2019).

Esses danos impactam a economia de um país como demonstrado no relatório publicado em 2010 pelo Instituto Trata Brasil que demonstra que regiões com maior acesso a serviços de saneamento apresentam trabalhadores mais produtivos e estudantes com maior aproveitamento escolar. Além disso, segundo o Ministério da Saúde do Brasil, a cada um real investido no setor de saneamento, economizam-se 9 reais em saúde (BATISTA, 2012; FUNASA, 2017).

Para que o setor de saneamento básico funcione adequadamente e previna os problemas supracitados, é necessário garantir que os serviços sejam prestados de forma eficiente e atendam as normas de qualidade impostas pelos órgãos responsáveis. Além disso, é necessário que ele se adapte às demandas de cada região e seja economicamente sustentável (BRASIL, 2019).

2.2 História do saneamento no mundo

O cuidado com a água é foco de atenção do ser humano desde as antigas civilizações. No Egito antigo, técnicas avançadas para a época foram desenvolvidas a fim de melhorar a administração dos sistemas de irrigação e construção de canais; na região da atual Índia, foram encontrados documentos indicando recomendações sobre modos de garantir o armazenamento seguro e o tratamento da água, como indicações de filtragem com carvão (ROCHA, 2018).

As técnicas de saneamento básico foram evoluindo ao longo da idade média e idade moderna, assim como as preocupações em relação ao esgoto humano. No século XIX d.C., contudo, o saneamento básico se tornou uma preocupação bem maior. Com a revolução industrial e o grande fluxo migratório das regiões rurais para centros urbanos, os sistemas de saneamento das cidades não possuíam capacidade para atender toda a população e lidar com os novos tipos de poluição que acabavam sendo emitidos. Os rios que escoavam por essas cidades se tornaram cada vez mais poluídos e passaram a prejudicar a agricultura e acarretaram no aumento da transmissão de doenças, como a febre tifoide (ROCHA, 2018).

Assim, foi necessário que as nações da época tomassem medidas para aumentar a regulamentação do setor e a responsabilidade das instituições com o meio ambiente. Em 1860, o governo francês adotou o Plano Belgrand que visava a despoluição do Sena, rio que cruza a cidade de Paris. Na Inglaterra, por sua vez, houve uma grande expansão do sistema de coleta de esgoto, com 300 mil edifícios se conectando com a rede pública entre 1850 e 1860.

Assim, o final do século XIX e começo de século XX foram marcados pela regularização do setor e desenvolvimento de técnicas mais avançadas para o tratamento de água e esgoto, tornando o saneamento básico cada vez mais acessível à população (ROCHA, 2018).

Em 1977, a Organização das Nações Unidas (ONU) realizou na Argentina a Conferência das Nações Unidas sobre a Água. Nela foi estabelecido, entre outros pontos em relação ao meio ambiente, que a água passa a ser um direito humano. Até hoje, diversas conferências são realizadas para discussões de tópicos como os direitos das crianças e combate à discriminação contra as mulheres, e diversas vezes o saneamento era citado como elemento fundamental para atingir os objetivos propostos (ZANCUL, 2015).

Uma das principais conferência realizada pela ONU aconteceu na cidade do Rio de Janeiro em 1992. A Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente, chamada de ECO-92, reuniu mais de 100 chefes de estado para discutir a preocupação e responsabilidade com o meio ambiente. O resultado foi a assinatura da Agenda 21, um documento que definiu pontos e compromissos sobre desenvolvimento sustentável. Nele, é reafirmado que o acesso a água potável é um direito humano (ZANCUL, 2015).

Em 2015, diversos líderes mundiais se juntaram novamente, agora em Paris, para retomar as discussões realizadas em 1992. Desta vez, o resultado da conferência foi a elaboração dos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) que compreendia 169 metas a serem atingidas até 2030 relacionadas ao combate à pobreza, discriminação e fome, e a busca por um mundo mais sustentável. O Objetivo 6, em particular, tem como título “Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos” e propõe, entre outras, metas para a universalização do acesso ao saneamento básico, aumento da qualidade da água e combate à poluição e proteção de ecossistemas relacionados a água (SILVA, 2015).

2.3 Saneamento no Brasil

No começo da implementação de sistemas de saneamento, o Brasil seguiu as tendências Europeias e dos Estados Unidos em relação ao saneamento básico, que envolviam abastecimento de água e coleta de esgoto através de tubulações centralizadas. Os primeiros avanços em relação a implementação de sistemas de saneamento básico no Brasil ocorreram no século XIX, sendo em maioria serviços de abastecimento de água. Contudo, em algumas cidades o sistema de esgotamento sanitário foi implementado antes do sistema de abastecimento, como foi o caso da cidade do Rio de Janeiro (BRASIL, 2021).

Até o século XX não houve muitos investimentos em estudos para se desenvolver técnicas que auxiliassem na solução de problemas nos sistemas de saneamento básico resultantes da rápida urbanização da época, que acarretou epidemias de doenças como o tifo, febre amarela, varíola e até peste bubônica. A forma que os responsáveis na época lidaram com esse problema foi reorganizar o setor permitindo a entrada de empresas estrangeiras (majoritariamente inglesas) de saneamento, transformando a água em mercadoria ao invés de um bem público (BRASIL, 2021).

Como o setor ficou dominado por empresas privadas que tinham o lucro como foco, os principais avanços do saneamento ficaram concentrados em regiões mais ricas e que apresentavam menores riscos a essas empresas. Assim, uma boa parcela da população brasileira não estava dentro da cobertura das redes de saneamento. Essa situação perdurou até a década de 1930, quando ocorreu a reorganização da gestão das águas e a implementação do Código das Águas, que ampliou o controle estatal no setor e estabeleceu algumas medidas regulatórias. Na década de 50, a maior parte do setor de saneamento passou a ser controlado pelos governos municipais, graças as medidas adotadas nos anos anteriores. Daí para adiante, houve uma maior centralização em âmbito estadual do saneamento, fazendo com que as instituições municipais tivessem que buscar crédito aos governos estaduais para operarem e expandirem (DOS SANTOS et al, 2020).

Durante a ditadura militar, foi implementado o primeiro plano em âmbito nacional em relação ao saneamento básico, chamado de Planasa. O principal foco dele era econômico, estabelecendo diretrizes para investimentos por parte do Banco Nacional de Habilitação, com o objetivo de expandir a rede de saneamento. O plano expandiu a cobertura de abastecimento de água, porém não conseguiu universalizar o acesso (DOS SANTOS et al, 2020).

A década de 1980 foi marcada pelo fim da ditadura e a redemocratização do Brasil. A constituição brasileira elaborada em 1988 declara que os serviços de saneamento básico devem ser ofertados a todos os brasileiros com qualidade. Em 2007, foi estabelecida a Lei nº11.445 de 5 de janeiro que define as diretrizes para a implementação e operação de sistemas de saneamento básico e prevê a elaboração de um planejamento integrado que contenha metas e atribua responsabilidades aos órgãos públicos quanto ao saneamento. Esse plano foi chamado de Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB) e foi sancionado no final de 2013. Alguns dos princípios estabelecidos foram a universalização do acesso ao saneamento, integralidade, qualidade e proteção ao meio ambiente, além da transparência e do controle social. Como foi estabelecido durante sua formulação, O PLANSAB deve ser avaliado anualmente e revisado de quatro em quatro anos, possuindo horizonte de 20 anos

(BRASIL, 2014).

O PLANSAB foi uma das últimas medidas implementada pelo governo brasileiro para melhorar e ampliar o atendimento. Um ponto importante definido pelo PLANSAB foi o escopo de atuação do setor no Brasil. O saneamento foi dividido em 4 conjuntos (BRASIL, 2007):

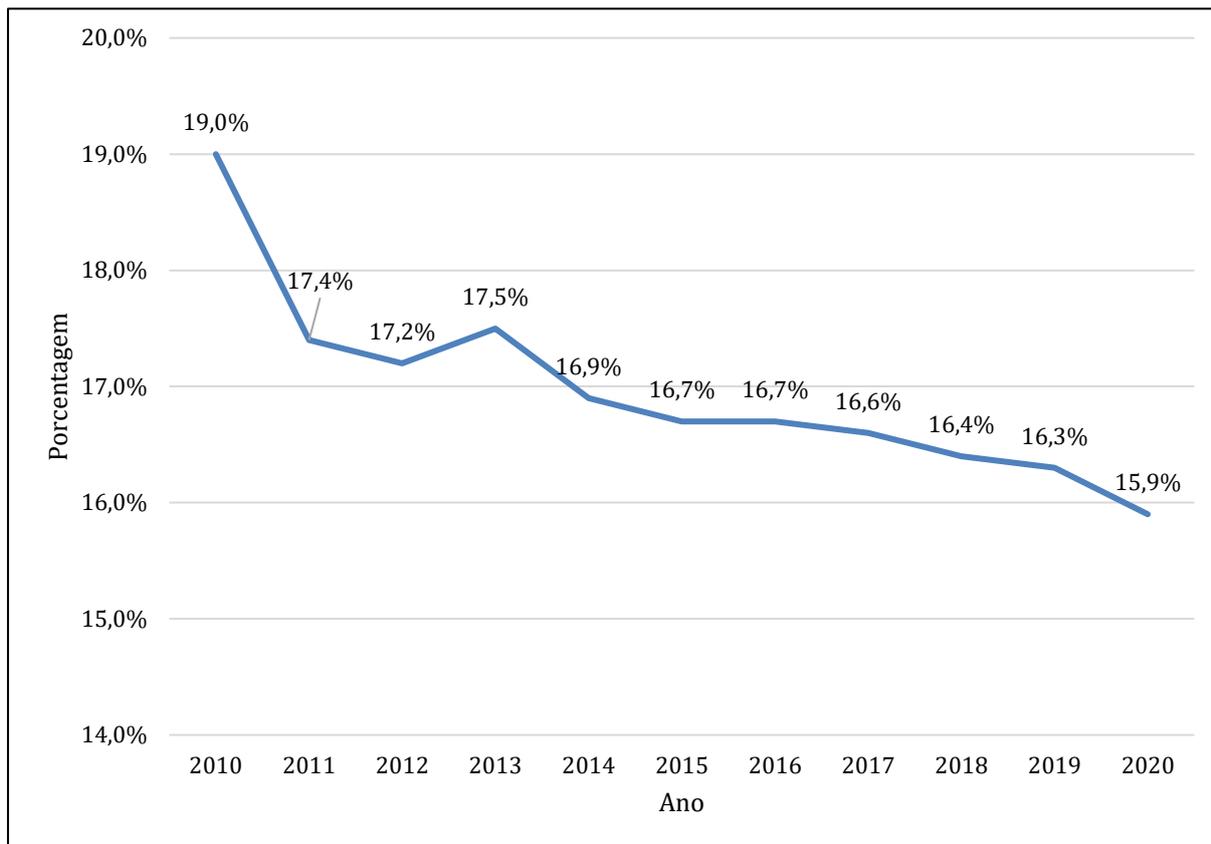
1. Abastecimento de água: Captação, tratamento e distribuição de água potável à população;
2. Esgotamento sanitário: Coleta, tratamento e descarte de esgoto no meio ambiente;
3. Resíduos sólidos e limpeza urbana: Coleta, tratamento e descarte de lixo doméstico e lixo resultante da limpeza de vias públicas;
4. Águas pluviais: Drenagem, tratamento e disposição final de águas pluviais;

2.4 Marco legal do saneamento e indicadores

Em julho de 2020, foi sancionada a Lei 14.026, chamada de “O novo marco legal do saneamento”. O marco legal altera a Lei 11.445, mudando a regulação de setor no país, delegando à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) a função de chefiar o controle das regulações (PAGANI; BOCCHIGLIERI, 2021).

O principal foco do novo marco legal do saneamento é atingir a universalização dos serviços de saneamento básico no Brasil até 2033. Segundo o Instituto Trata Brasil, uma Organização da Sociedade Civil de Interesse Público (OSCIP) criada em 2007 que realiza estudos sobre indicadores relacionados com o saneamento básico com base no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), a porcentagem da população brasileira sem acesso à água potável é igual a 15,9% em 2020, o que equivale a aproximadamente 33,1 milhões de brasileiros. A Figura 1 apresenta a série histórica da porcentagem da população brasileira sem acesso à água potável de 2010 a 2020.

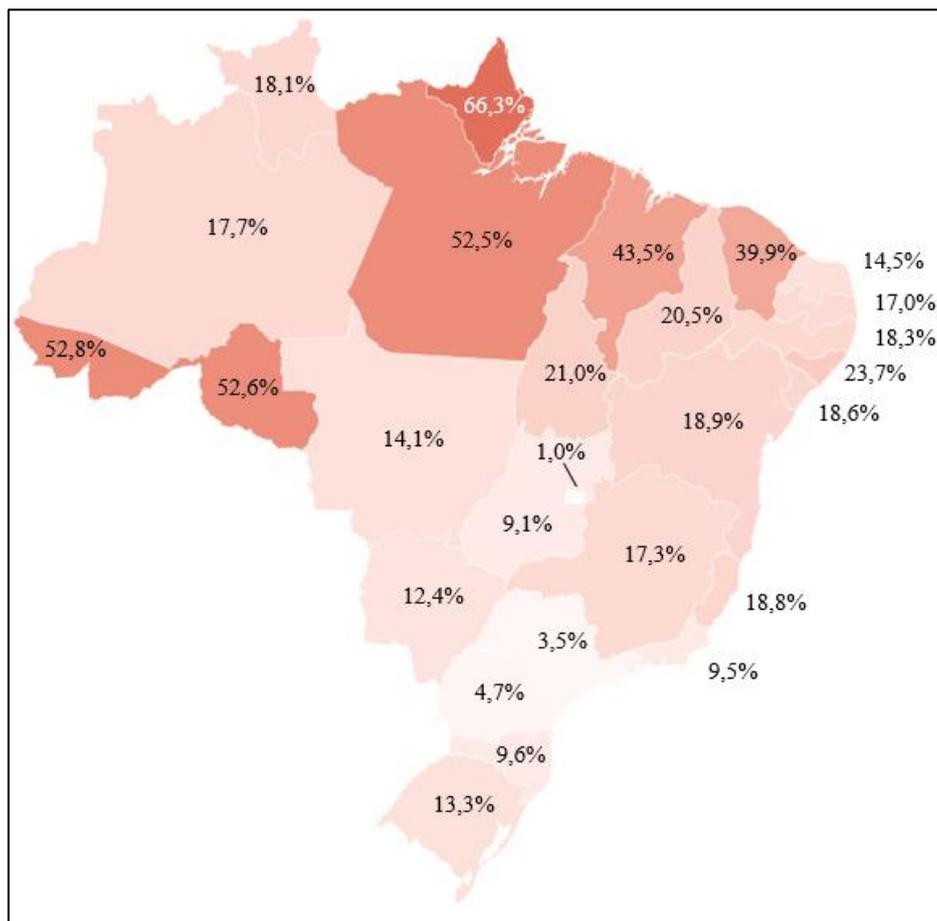
Figura 1 - Porcentagem da população brasileira sem acesso à água potável a cada ano (2010-2020)



Fonte: Adaptado de Instituto Trata Brasil (2020)

O Brasil é caracterizado por uma grande desigualdade em relação ao atendimento dos serviços de saneamento, variando em até 60% de estado para estado. Enquanto as regiões sudeste e sul costumam apresentar dados melhores, a região norte apresenta dados piores. É possível notar tal desigualdade através da porcentagem da população de cada estado brasileiro sem acesso à água potável em 2020 (Figura 2).

Figura 2 - Porcentagem da população brasileira sem acesso à água potável em 2020 por estado

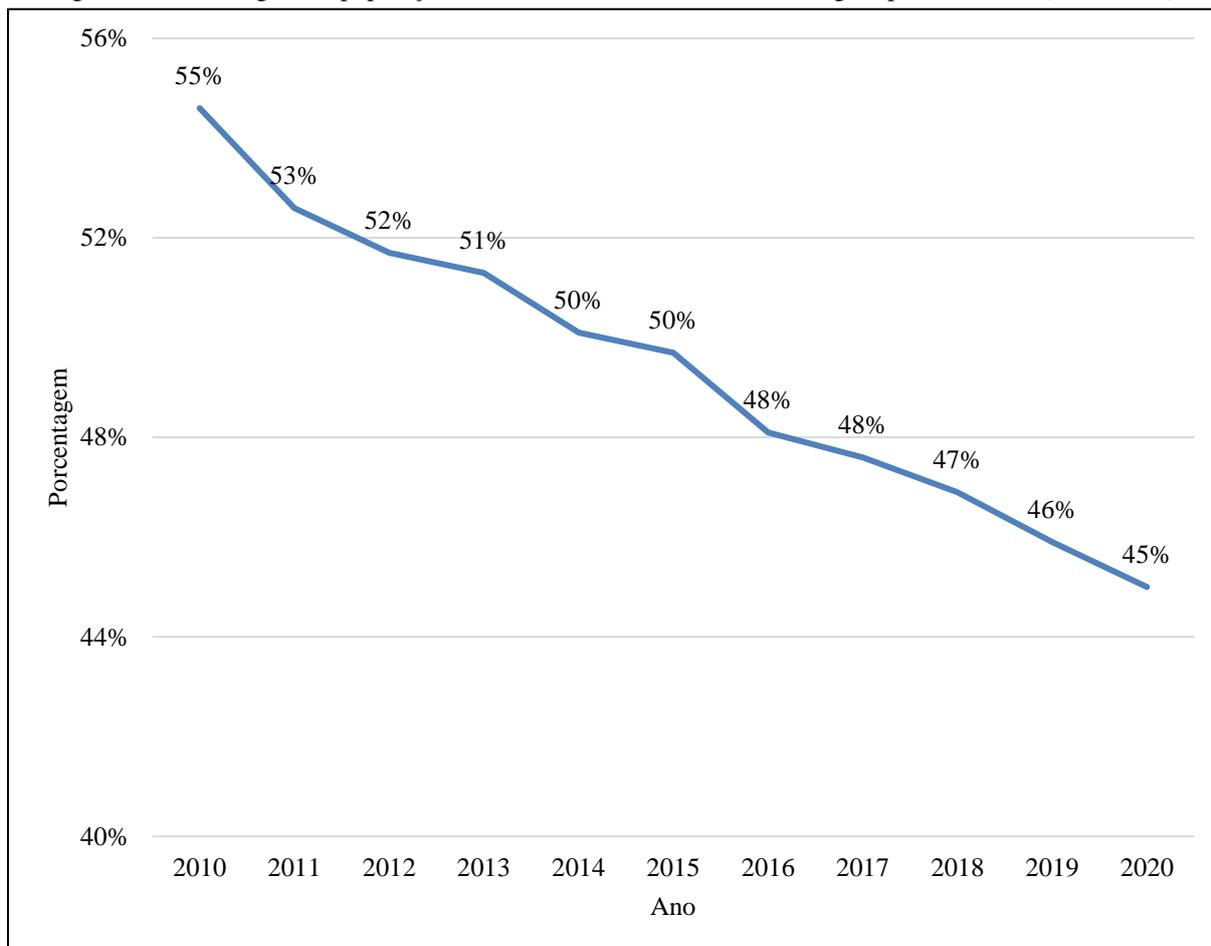


Fonte: Adaptado de Instituto Trata Brasil (2020)

Fica claro como a região norte e alguns estados da região nordeste apresentam dados mais discrepantes e preocupantes do que o resto do país. Contudo, não se deve deixar enganar pelo baixo número apresentado pelas regiões sudeste, sul e centro-oeste. Ao todo, o Brasil possui 33.102.066 de habitantes sem acesso à água potável, sendo que deles as regiões sul, sudeste e centro-oeste correspondem à 2.720.099, 7.679.437 e 1.486.145 respectivamente, sendo ainda um número considerável de pessoas sem acesso a um direito declarado pela constituição.

Para o esgotamento sanitário os dados são ainda mais preocupantes, com 45,0% da população sem coleta de esgoto. Da mesma forma como os dados para o abastecimento de água, a Figura 3 apresenta a série histórica dessa porcentagem entre 2010 e 2020.

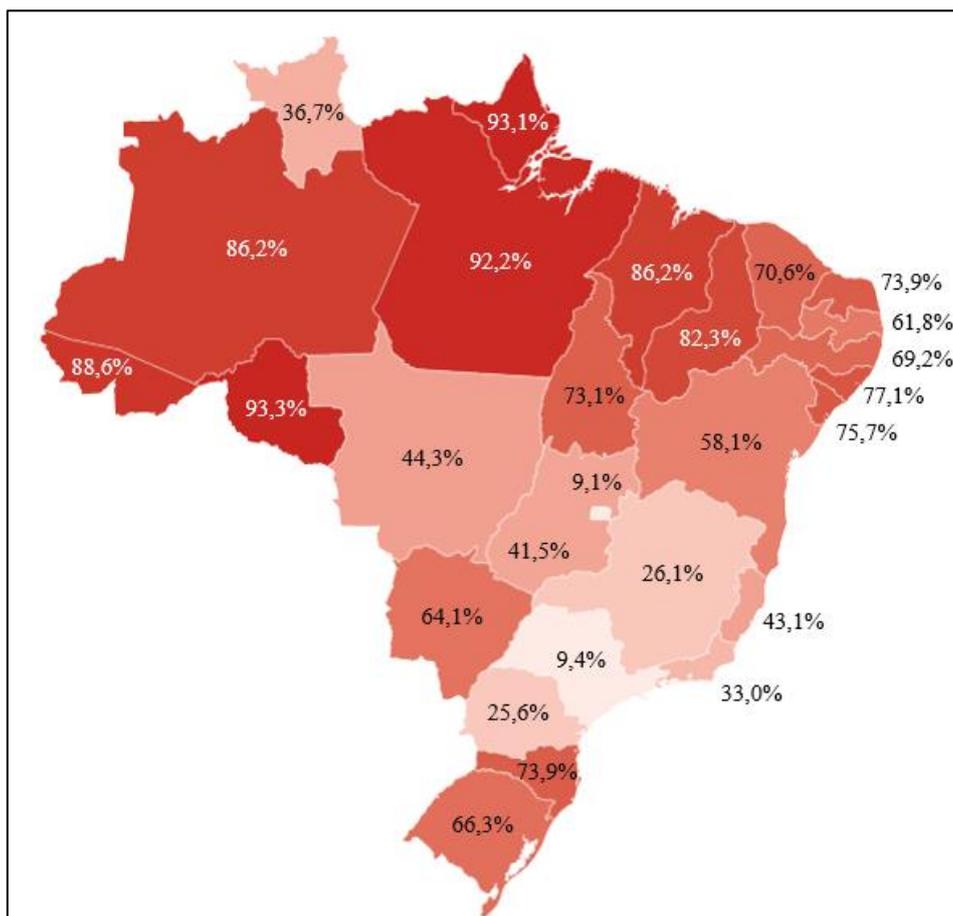
Figura 3 - Porcentagem da população brasileira sem acesso à coleta de esgoto para cada ano (2010-2020)



Fonte: Adaptado de Instituto Trata Brasil (2020)

A queda de 10% em dez anos pode ser considerada pequena quando é levado em conta que, ainda em 2020, aproximadamente 93 milhões de habitantes não possuem acesso à coleta de esgoto. A situação fica ainda mais preocupante quando se observa a porcentagem da população por estado (Figura 4).

Figura 4 - Porcentagem da população brasileira sem acesso à coleta de esgoto em 2020 por estado



Fonte: Adaptado de Instituto Trata Brasil (2020)

Pelas Figuras 3 e 4, nota-se a grande desigualdade no serviço de saneamento básico que a população brasileira vive. Assim, fica clara a necessidade de expandir as redes dos serviços de saneamento básico (água e esgoto) para atender uma maior parte da população, adequando-se às necessidades e características de cada região do país. A meta do marco é atender 99% da população brasileira com o abastecimento de água potável e 90% com coleta e tratamento de esgoto até dezembro de 2033 (TCESP, 2021).

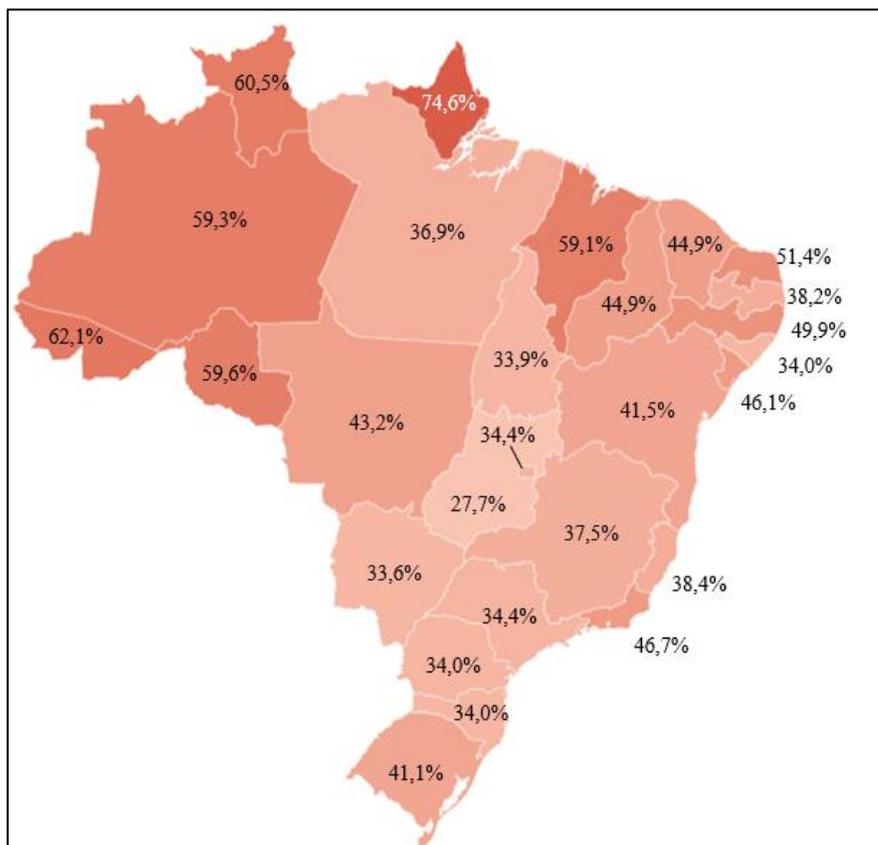
Uma das medidas determinadas pelo marco legal é atribuir novas responsabilidades à ANA, chamada agora de Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, como estabelecer e regular normas do setor. O objetivo dessa mudança é garantir uma padronização nas normas em âmbito nacional e garantir uma segurança jurídica para atrair investidores (ISA; NEVES, 2021).

A medida que mais chama atenção é a maior abertura do setor para a iniciativa privada. Em 2018, segundo a Associação e Sindicato Nacional das Concessionárias Privadas

de Serviços Públicos de Água e Esgoto (ABCON SINDCON), 5,2% dos municípios brasileiros possuíam participação privada nos serviços de água e esgoto, contra 25,7% de instituições municipais e 72% de companhias municipais. Ao final do primeiro semestre de 2022, a porcentagem de municípios com participação privada subiu para 9,1%. O objetivo dessa medida é aumentar a competitividade do setor e usá-la para impulsionar a expansão das redes de saneamento e o aumento da qualidade dos serviços prestados (ABCON SINDCON, 2022).

A eficiência dos serviços de saneamento básico deve ser um ponto de atenção quando se fala da universalização dos serviços. Um grave problema existente no abastecimento de água potável no Brasil são as grandes perdas de água tratada. Em 2020, 40,1% de toda água potável tratada no Brasil foi perdida ou não faturada. Então se observarmos que 40,1% de toda água potável foi perdida e aproximadamente 33 milhões de brasileiros não tem acesso à água potável demonstra a gravidade da situação.

Figura 5 - Porcentagem de água tratada perdida na distribuição de cada estado em 2020



Fonte: Adaptado de Instituto Trata Brasil (2020)

2.5 Abastecimento de água

Para que a água chegue até a população com a qualidade e quantidade para atender todas as necessidades humanas, ela deve passar por diversas etapas, como tratamento e adução, e uma rede quilométrica de distribuição. O serviço de abastecimento de água é definido como o processo de captação de água de um manancial seguido por uma etapa de tratamento, se necessário, e uma etapa de distribuição. Além disso, existem etapas menores de armazenamento e adução que devem ser consideradas (BRASIL, 2021).

Os sistemas de abastecimentos podem ser caracterizados de diversas maneiras. Nas regiões urbanas do país, o serviço de abastecimento é realizado por redes públicas capazes de abastecer milhares ou até milhões de pessoas continuamente. Esses sistemas são chamados de Sistema de Abastecimento de Água (SAA) ou soluções clássicas e englobam diversas obras civis e grandes infraestruturas, como estações de tratamento de água (ETA), caracterizando o tipo de sistema mais completo e com maior capacidade de abastecimento. Ele pode apresentar distinções de acordo com as necessidades do município e do tipo de manancial (BRASIL, 2021).

Para a população rural ou de pequenos núcleos urbanos onde as soluções clássicas não podem ser implementadas por questões de infraestrutura ou de viabilidade econômica, existem as soluções de abastecimento coletivas (SAC). Elas possuem capacidade bem mais reduzida do que as SAA, porém são mais baratas por possuírem menos etapas e equipamentos. Além de comunidades isoladas, condomínios, hotéis e clubes podem optar por instalar esses sistemas. Esses sistemas variam de acordo com a fonte de captação, podendo ser de água da chuva, poços artesianos ou até abastecimento por caminhão pipa (BRASIL, 2007).

Por fim existem as soluções de abastecimento individuais que, como o nome diz, possui capacidade para abastecer um único domicílio. Essas são as mais baratas e mais simples (BRASIL, 2007).

Figura 6 - Processo de Abastecimento de Água no Brasil



Fonte: Adaptado de EOS Consultores (2022)¹

Para as SAA, as etapas são as mesmas para a grande maioria dos municípios, variando no nível do tratamento, que depende da qualidade da água do manancial, e da quantidade de água que deverá ser tratada. Assim, o esquema acima (Figura 6) representa um esquema simples das etapas de um sistema de abastecimento de água no Brasil (BRASIL, 2016).

2.6 Indústria 4.0

Nos últimos séculos, o ser humano passou por algumas revoluções industriais que acompanharam o desenvolvimento tecnológico da época em que aconteceram. A primeira e a segunda foram marcadas pelo uso de máquinas à vapor e pelo uso mais extenso da energia elétrica e de petróleo, respectivamente. A terceira revolução ocorreu com a grande digitalização e o uso de computadores, com os meios de comunicação cada vez mais rápidos e mais acessíveis. Agora, acredita-se que a indústria está passando por mais uma revolução, marcada pela maior conexão entre o mundo físico e o mundo digital: a chamada indústria 4.0 (SEBRAE, 2018).

O termo indústria 4.0 foi cunhado na Alemanha e é utilizado para se referir à 4ª revolução industrial, que envolve tecnologias avançadas que visam aumentar a integração e flexibilidade dos sistemas produtivos. Algumas dessas tecnologias são a Internet das Coisas (*IoT - Internet of Things*), *Big Data* e inteligência artificial. A implementação de conceitos da indústria 4.0 permitem aos gestores obterem mais informações sobre seus processos e

¹ Disponível em <<https://www.eosconsultores.com.br/sistema-de-abastecimento-de-agua-funcionamento/>>. Acesso em 18 ago. 2022

tomarem decisões de forma mais eficiente, tornarem seus processos mais autônomos e com maior capacidade de personalização do produto ou serviço (DE AZEVEDO, 2017).

Para entender melhor o que é a indústria 4.0 é necessário compreender suas tecnologias e os conceitos envolvidos.

2.6.1 Internet of Things

A Internet das Coisas já existe há algumas décadas, contudo atualmente ela está sendo cada vez mais implementada nas cadeias produtivas e em bens de consumo. Ela é um dos conceitos que melhor representa o que é a indústria 4.0. IoT envolve integrar sensores, objetos ou itens do dia a dia à internet. Não se trata de objetos como computadores e celulares, mas sim carros, equipamentos ou eletrodomésticos. Para a indústria, a principal aplicação está ligada à integração de sensores industriais, como medidores de vazão ou manômetros, com a internet, permitindo uma troca mais veloz de informação ou dados com um operador ou até mesmo com outros equipamentos, tornando a produção mais eficiente (ROSE, 2015).

Com uma rede conectada de sensores, tomadores de decisões conseguem efetuar atividades de nível tático ou estratégico mais rapidamente e com uma visão mais completa do processo. Além disso, a IoT permite uma maior autonomia, diminuindo o número de operadores no processo e por consequência sendo mais econômico, além garantir uma maior rapidez na resposta à distúrbios ou alterações no sistema (OLSEN; TOMLIN, 2020).

2.6.2 Big Data

Com o avanço das tecnologias e maior conexão do mundo, influenciado pela implementação da *IoT*, um grande volume de dados vem sendo gerado diariamente. O termo Big Data se refere a esse conjunto de dados com grande taxa de crescimento que podem apresentar dados estruturados ou não. Big Data pode ser também definido a partir de três características: Grande volume gerado por diversas fontes, alta rapidez na geração de dados e com grande variedade (ADAMALA, 2017).

A maior dificuldade em se lidar com grandes conjuntos de dados é extrair informações valiosas deles. Para isso, são necessários vários recursos, como computadores com alta capacidade de processamento e armazenamento, assim como modelos de dados capazes de garantir resultados precisos e confiáveis, sem perdas de dados ao longo do

processo, sendo esse um dos maiores desafios (ADAMALA, 2017).

Algumas das aplicações do Big Data são: estudo do clima, controle de estoque, análise florestais análise de dados de hospitais e gerenciamento de rotas de ônibus (ADAMALA, 2017).

2.6.3 Inteligência artificial

O conceito de inteligência artificial existe há algumas décadas e sua definição foi mudando com o tempo. Uma das primeiras definições, segundo Haugeland, era que uma inteligência artificial seria um conjunto de sistemas computacionais que pensariam como humanos. A crítica a esta definição é que ela é muito vaga e até hoje é complicado apresentar uma definição precisa para o que é uma inteligência artificial. Uma definição mais científica seria que inteligência artificial é um sistema capaz de interpretar dados externos, aprender através deles e usar esse aprendizado para realizar tarefas se adaptando flexivelmente (KAPLAN; HAENLEIN, 2019).

A principal vantagem da inteligência artificial é conseguir substituir seres humanos em tarefas que exijam maior flexibilidade que máquinas tradicionais podem oferecer. Aliada ao *Big Data*, a inteligência artificial pode oferecer uma forte ferramenta para se analisar dados. Suas principais aplicações estão ligadas à identificação de tendências ou padrões, como sistemas especialistas, robótica e sistemas visuais (GOMES, 2010).

2.6.4 Drones

Os drones são veículos voadores não tripulados controlados de forma remota por um operador ou um computador e no contexto da indústria 4.0 são muito utilizados para coleta de dados. Existem dois modelos principais: Os de asa fixa, que se assemelham a aviões, e os multirrotores, que se assemelham a helicópteros. Os drones podem carregar diversas ferramentas e equipamentos para realizarem várias tarefas (DE AZEVEDO; DA SILVA, 2019; RIBEIRO, 2019).

As primeiras aplicações dos drones eram militares, para reconhecimento de território inimigo e posteriormente para uso bélico, apresentando inicialmente um custo bem elevado. Com o passar dos tempos, os preços dos drones caíram e novos modelos para soluções civis entraram no mercado. Atualmente, graças a esse barateamento dos preços, os drones mais simples chegaram ao mercado consumidor (WASHINGTON, 2018).

Os drones são muito utilizados para realizar monitoramento e coleta de dados de grandes áreas. Eles ajudam a identificar o impacto das mudanças climáticas e desmatamentos ilegais em áreas de proteção ambiental. Na agricultura, drones são utilizados para monitorar as lavouras e até mesmo aplicar defensivos agrícolas. Por apresentar preços relativamente baixos, os drones permitem que cada vez mais indústrias apliquem soluções mais avançadas em suas operações (WASHINGTON, 2018).

3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada para a realização do estudo proposto se baseou numa revisão bibliográfica de artigos científicos, documentos de instituições governamentais e não governamentais, livros e apostilas utilizadas em cursos sobre o processo de abastecimento de água.

O processo analisado é chamado de SAA ou sistema de abastecimento de água potável, definido por ANA (2016). Ele compreende as etapas de captação, adução, estações elevatórias, estação de tratamento de água, reservatórios e rede de distribuição. Outros sistemas, como o SAC, são mais simples que o SAA e são implementações de baixo custo. Além disso, os SAA possuem maior capacidade de produção, mais equipamentos necessários e são mais implementadas ao redor do mundo, o que favorece encontrar tendências e estudos relacionados.

Após o desenvolvimento e apresentação do processo do sistema de abastecimento de água potável, foram apresentadas algumas aplicações envolvendo parte dos principais pilares da indústria 4.0 já citados na seção de referencial teórico. As aplicações citadas foram desenvolvidas em estudos ou aplicadas por companhias de abastecimento ao redor do mundo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O processo de abastecimento de água no Brasil envolve algumas etapas físicas e químicas: captação da água bruta, adução da água bruta e tratada, estações elevatórias ou recalque, estação de tratamento de água, armazenagem (reservatórios), rede de distribuição e ligação domiciliar. Contudo, nem todos os municípios do Brasil apresentam todas as etapas, dependendo da geografia do lugar, tamanho da rede de distribuição e volume de água necessários, origem e qualidade da água bruta etc.

4.1 Captação de água bruta

O processo de abastecimento de água começa com a captação da água bruta, isto é, a água vinda diretamente de um manancial. A forma como essa etapa é implementada depende do manancial. Existem dois tipos de mananciais disponíveis no meio ambiente: mananciais superficiais e mananciais subterrâneos. Os mananciais superficiais são os rios, lagos ou canais que estão na superfície terrestre e, por isso, são os mais fáceis de coletar. Os mananciais subterrâneos são aqueles que estão abaixo da superfície da Terra e são os chamados lençóis subterrâneos. Apesar da difícil captação desses mananciais, muitos deles apresentam alta qualidade d'água, dispensando tratamentos avançados nesses casos. Segundo a ANA, 43% dos municípios do Brasil são abastecidos somente por fontes superficiais, 41% somente por fontes subterrâneas e 16% são abastecidos pelas duas fontes (GUIMARÃES et al, 2007).

A escolha do manancial abastecedor é essencial para o projeto da rede e depende de alguns fatores. Deve-se levar em consideração a distância entre o manancial e os centros de abastecimento, o volume de água disponível, a qualidade da água, os danos que serão acarretados ao meio ambiente pela exploração do local, e entre outros. O manancial ideal é aquele que apresenta fácil acesso, alta qualidade de água, podendo até dispensar a etapa de tratamento, e com volume suficiente para atender a demanda do local. Como nem sempre é possível trabalhar nas operações ideais, é necessário avaliar se a captação do manancial não elevaria muito o custo de operação (GUIMARÃES et al, 2007).

Para a escolha de mananciais superficiais é necessário realizar estudos geográficos do local, como perfil topográfico e desnível altimétrico, estimativas de nível de água pelo tempo, estudos sanitários do manancial e características físico-químicas da água. Esse último é importante já que, ao contrário das fontes subterrâneas, os mananciais superficiais

apresentam qualidade de água inferiores às aceitáveis para consumo, necessário avaliar o nível de tratamento requerido no processo. Além disso, é necessário avaliar qual será o crescimento da população que será abastecida em certo período para garantir que a captação conseguirá atender uma variação na demanda de água. Para alguns desses estudos, é necessário realizar inspeções de campo onde os engenheiros e técnicos devem estar preparados com equipamentos adequados (HELLER; DE PADUA; NAGHETTINI, 2010).

Para o caso de mananciais subterrâneos, também é necessário realizar alguns estudos para selecionar o manancial e verificar se ele é apropriado para a situação. Para isso, é necessário coletar uma grande quantidade de informações. Primeiramente, é obtido os dados já existentes sobre o local, como mapas com informações sobre a geografia, informações sobre os pontos de água existentes e imagens aéreas do local. Se não existirem documentos com essas informações, é necessário ir a campo para coletá-las. Além disso, é necessário avaliar a capacidade de extração do manancial, ou seja, qual será a vazão de captação possível, qualidade da água e quaisquer outros dados referentes ao meio ambiente. Com essas informações é possível determinar qual é o tipo do manancial e, com isso, como será feita a captação (HELLER; DE PADUA; NAGHETTINI, 2010).

Os mananciais subterrâneos que possuem capacidade de produzir grandes quantidades de água são os aquíferos. Eles são classificados de acordo com a sua porosidade. Os aquíferos porosos são aqueles compostos por rochas sedimentares e apresentam grande volume de água. O Aquífero Guarani, o segundo maior do mundo e presente no sul do continente americano, é um aquífero poroso, por exemplo. Outro tipo de aquífero são os fraturados ou fissurados, que é composto por rochas com fraturas que permitem a passagem da água. Assim, sua produtividade depende do tamanho dessas fissuras. Por fim, existem os aquíferos cársticos, que também são compostos por rochas com fraturas, porém estas são significativamente maiores como cavernas (COSTA, 2015).

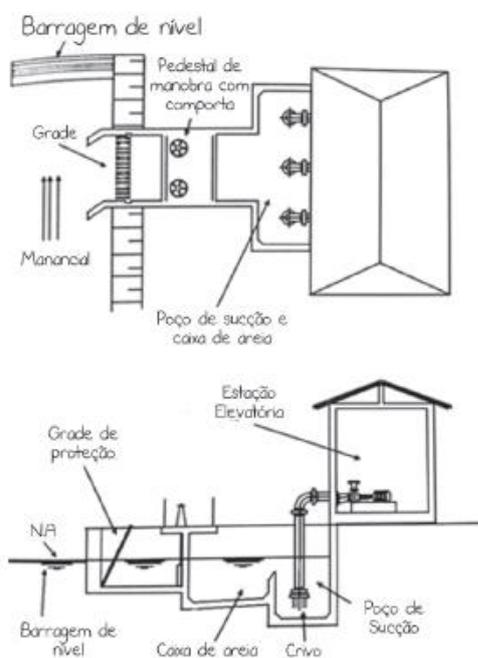
Outra forma de se classificar os aquíferos são a partir da sua pressão. Neste caso existem 4 classificações: Livres, onde o topo dele é definido pelo nível freático, artesianos, onde o topo apresenta uma pressão maior que a atmosférica, semiconfinados, que apresentam características intermediárias aos anteriores, e os suspensos, que possuem acúmulo de água em camadas descontínuas sobrepostas. Os três tipos de aquíferos estão presentes no Brasil, porém os mais utilizados para captação são os aquíferos livres por possuírem menor profundidade e recarga mais rápida, características que diminuem o custo da exploração e aumentam a qualidade da água. Contudo, essas características tornam esse tipo de aquífero mais vulnerável à contaminantes, sendo então necessário avaliar bem o local e quais ações

humanas e naturais acontecem ao seu redor antes de realizar a escavação (HELLER; DE PADUA; PALMIER, 2010).

A forma de captação mais utilizada é através dos poços tubulares, por serem mais eficientes e práticos. Esses poços apresentam tubos com diâmetro entre 6 e 10 polegadas e podem ser utilizados tanto em baixas como altas profundidades, chegando até 2 mil metros. O poço é composto por tubos ranhurados, bombas submersas para a captação, pilares para sustentação e filtros e grades para impedir a passagem de grandes partículas (BRASIL, 2016; COSTA, 2015).

No caso de mananciais superficiais, a captação é realizada a partir de tomadas d'água. O principal método utilizado em abastecimentos públicos é a captação com reservatório de regularização. Nela, é construída uma barragem no manancial que permite aumentar a vazão de água possível para captação. A tomada d'água é composta por equipamentos como tubulações, caixa de areia, grades e bombas. A Figura 7 mostra um esquema de uma tomada d'água para a captação com reservatório (HELLER; DE PADUA; PRINCE, 2010).

Figura 7 - Tomada d'água



Fonte: Adaptado de Costa (2015)

Tanto as captações superficiais e as subterrâneas precisam de monitoramento de qualidade da água para assegurar que os padrões da água que está sendo captada se adequam às faixas de operação do sistema de abastecimento. É necessário observar a temperatura, cor,

odor, turbidez e sólidos em suspensão. Além disso, é necessário avaliar as propriedades relacionadas a presença de íons ou microrganismos, como pH, condutividade elétrica, dureza, alcalinidade e demanda química/biológica de oxigênio. Esses parâmetros podem ser observados por medidores ligados ao processo ou a partir de análises em laboratório, onde uma amostra da água é coletada periodicamente e diversas análises são realizadas (HELLER; DE PADUA; PRINCE, 2010).

4.2 Adução

A etapa de adução se refere ao transporte de água durante o processo entre as demais etapas, sem considerar a distribuição. Ou seja, a adução é responsável por transportar a água bruta captada até a estação de tratamento, nesse caso sendo chamada de adução de água bruta, e da estação de tratamento para os reservatórios, sendo chamada de adutora de água tratada. Outra forma de classificar os sistemas de adução seria a partir da forma de escoamento. Como em muitas indústrias, a melhor e mais econômica forma de transportar a água ao longo das instalações é a partir da força da gravidade e nesses casos, chama-se o sistema de adução por gravidade ou de escoamento livre. Contudo nem sempre é possível utilizá-la, sendo necessário implementar uma estação elevatória e o sistema passa a se chamar de adução por recalque ou escoamento forçado. É possível haver sistemas de adução que utilizem ambos os métodos de escoamento (HELLER et al, 2010).

A maioria das estações de captação e tratamento possuem somente um canal de adução, o que significa que, por qualquer motivo, a adução seja interrompida, o processo de abastecimento anterior aos reservatórios também é interrompido. Por isso é importante que o sistema seja projetado corretamente levando em consideração não só as necessidades da rede, como as condições do local. Assim como no caso do projeto da etapa de captação, é importante obter estudos geográficos da região, principalmente para avaliar a necessidade de estações elevatórias e a facilidade do acesso (BRASIL, 2016).

Para realizar o dimensionamento do sistema de adução, o principal parâmetro que deve ser considerado são as vazões ao longo das estações. Essas vazões são definidas pelo consumo médio da população abastecida pelo sistema, o tempo de operação da adução e a posição das estações. Enquanto as adutoras por gravidade costumam operar por 24 horas, as adutoras por recalque possuem tempo de operação reduzido de 16 a 20 horas por questões econômicas e de manutenção. Além disso, é importante avaliar a posição das válvulas de controle e os medidores de pressão e vazão (HELLER et al, 2010).

O material a ser escolhido para compor o sistema de tubulação é feito a partir da pressão de operação. O ideal são pressões próximas a pressão atmosférica, já que altas pressões acarretam maiores custos e pressões pequenas podem causar problemas estruturais. As tubulações podem ser feitas tanto por materiais metálicos (aço, ferro) como por tubos não metálicos (PVC, concreto protendido). No Brasil, os mais utilizados são os de ferro, aço e o PEAD ou polietileno de alta densidade (BRASIL, 2016).

O ideal é que não haja variação na velocidade de escoamento ao longo do sistema de adução durante sua operação. Se a velocidade variar de forma lenta, não deverá ocorrer nenhum tipo de problema. Contudo, se a variação for muito abrupta, diversos problemas começarão a aparecer no sistema que poderão comprometer a estrutura das tubulações. A variação da velocidade gera ondas de pressão que acarretam violentos choques contra a tubulação. Essas ondas são chamadas de golpe de aríete. A força do golpe dependerá, principalmente, do tempo que leva para ocorrer a variação na velocidade (HELLER et al, 2010).

Existem diversas medidas que podem ser tomadas para evitar o fenômeno, sendo os mais eficientes feitos durante a etapa de projeto, como aumentar o diâmetro interno ou selecionar materiais menos elásticos. Equipamentos podem ser inseridos ao longo da etapa também, sendo os mais usados o volante, que é inserido nas bombas e diminui a variação da potência dela, a válvula antigolpe, que é acionada por um controlador externo e alivia a pressão no interior do tubo, e o reservatório hidropneumático, que corrige a pressão inserindo ou retirando água da tubulação. É possível também alterar os parâmetros de operação, como limitar a velocidade de escoamento e alterar o tempo de reação das válvulas (HELLER et al, 2010).

4.3 Estação elevatória

Como foi apresentado na seção anterior, para o transporte da água bruta ou tratada ao longo das instalações do sistema de abastecimento o ideal é utilizar a força da gravidade, já que torna o processo mais seguro e econômico. Contudo, nem sempre isso é possível, sendo em alguns casos necessário a inserção de bombas para possibilitar o escoamento. Da mesma forma que os sistemas adutores, as estações elevatórias utilizadas para o transporte de água bruta até a estação de tratamento são chamadas de elevatórias de água bruta, e para o transporte de água tratada de elevatórias de água tratada (HELLER; DE PADUA; COELHO, 2010).

O principal equipamento empregado em estações elevatórias é a bomba. É ela que fornecerá energia à água para que o escoamento possa acontecer, a partir de um motor. Elas são classificadas de acordo com a forma que elas convertem a energia mecânica do motor em energia hidráulica. O tipo principal são as turbobombas, que movimentam o fluido através de um eixo ligado a um disco com hélices. O fluido entra na bomba pelo centro do disco e é impelido para sua periferia através da força centrífuga (NICOLI; GILSON, 2004).

Outros tipos de bombas, como as bombas volumétricas, não são muito utilizados para o escoamento de água, já que os sistemas de abastecimento costumam exigir uma vazão acima da faixa de operação delas. Algumas podem ser utilizadas como dosadoras de produtos químicos durante a etapa de tratamento ou em soluções alternativas de abastecimento (HELLER; DE PADUA; COELHO, 2010).

Em algumas situações é necessário inserir mais de uma bomba no sistema para melhor atender as necessidades de vazão. Em alguns casos, a vazão necessária é tão grande ou a altura manométrica é tão elevada que não é economicamente viável operar o processo com uma única bomba. Existem duas formas de operar mais de uma bomba em um processo: De forma paralela ou em série. O primeiro caso é utilizado quando a vazão necessária não é atingida com uma única bomba. Assim, a saída das bombas é ligada à uma única tubulação, fazendo com que a vazão resultante seja igual a soma das vazões de saída de cada bomba. No caso do sistema em série, sua aplicação ocorre em casos em que a altura manométrica é bastante elevada. Nesse caso, a saída de uma bomba é ligada à entrada da bomba seguinte (HELLER; DE PADUA; COELHO, 2010).

As estações elevatórias são compostas no geral pelos mesmos equipamentos, com algumas possíveis variações dependendo do sistema. Além das bombas, são utilizadas válvulas para controle de vazão e de pé com crivo/retenção e adaptadores para adequar o diâmetro das tubulações com a entrada e saída da bomba, além da estrutura para proteger as bombas e motores, chamada de sala de máquinas. Existem também sistemas de controle de vazão com sensores medindo parâmetros do sistema (HELLER; DE PADUA; COELHO, 2010).

Além dos problemas de “golpe de aríete” inerentes a sistemas que envolvem bombeamento, a cavitação é outro fenômeno que deve ser evitado, mas que pode acontecer em estações elevatórias. Esse fenômeno está relacionado com a formação de bolhas dentro da tubulação quando a pressão absoluta de operação se reduz à pressão de vapor da água. Isso causa um grande desgaste tanto na bomba como na tubulação. Sinais de que o sistema pode estar sofrendo cavitação são altos barulhos no interior da tubulação próxima a bomba e queda

de performance da mesma. Para evitar a cavitação, a maneira mais eficiente é posicionar a bomba a uma altura apropriada da fonte de captação ou colocá-la abaixo desse ponto (bomba afogada), já que nesse ponto, a pressão costuma ser mais baixa e pode chegar à pressão de vapor. Caso isso não seja possível, outras medidas podem ser tomadas, como diminuir a rugosidade da tubulação ou injetar ar no local de formação das bolhas para a correção da pressão (SANTOS, 2007).

4.4 Estação de tratamento d'água

A estação de tratamento de água, ou ETA, é uma das principais etapas do sistema de abastecimento de água. O objetivo dela é adequar os parâmetros da água bruta às condições apropriadas para o consumo humano. Uma ETA é composta por diversas operações unitárias responsáveis por retirar contaminantes, matar microrganismos patogênicos ou alterar parâmetros como pH ou turbidez (COSTA, 2015).

A água bruta pode conter contaminantes de diversos tipos, como partículas ou microrganismos. Essas partículas afetam diversos parâmetros da água, como cor, sabor, odor, turbidez e entre outros. A qualidade da água é avaliada a partir do índice de qualidade das águas (IQA), que relaciona diversos parâmetros de forma ponderada. Ele foi desenvolvido em 1975 por especialistas em qualidade de água nos Estados Unidos e adaptado pela CETESP 5 anos depois. Desde então diversos estados brasileiros adotaram e adaptaram o índice. O cálculo dele é feito a partir do produtório do valor de qualidade (q), obtido através de curvas da concentração ou medida do parâmetro referente e do peso desse parâmetro (w). A Tabela 1 apresenta os parâmetros para o cálculo do IQA (BRASIL, 2005).

Tabela 1 - Parâmetros e pesos para o cálculo do IQA

Parâmetros	Pesos (w)
Oxigênio dissolvido	0,17
Coliformes fecais	0,15
Potencial hidrogeniônico (pH)	0,12
Demanda bioquímica de oxigênio	0,10
Temperatura	0,10
Nitrogênio total	0,10
Fósforo total	0,10
Turbidez	0,08
Resíduo total	0,08

Fonte: Adaptado de Brasil (2005)

A partir do cálculo, é obtido um número de 0 a 100 que expressa o nível de qualidade da água em questão. A Tabela 2 apresenta a qualificação das águas de acordo com seu IQA.

Tabela 2 – Qualificação estadual do IQA

Valor do IQA (Estados: AP, MG, MT, PR, RS)	Valor do IQA (Estados: BA, ES, GO, MS, SP)	Qualidade da Água
91 – 100	80 – 100	Ótima
71 – 90	52 – 79	Boa
51 -70	37 - 51	Aceitável
26 – 50	20 - 36	Ruim
0 – 25	0 – 19	Péssima

Fonte: Brasil (2005)

A escolha das operações unitárias que irão compor a ETA deve ser feita levando em conta diversos pontos de projeto, mas o principal é garantir a que os parâmetros da água bruta sejam alterados para ficar no nível próprio para consumo. Assim, é fundamental analisar quais são as condições da água bruta para determinar o nível de tratamento no qual a água terá que ser submetida. O mais comum no Brasil é o chamado tratamento convencional, onde ocorre o pré-tratamento da água nas etapas de coagulação e fluoretação e a água segue para a etapa de clarificação, ocorrendo em decantadores ou flotores. Por fim, a água passa pelas etapas de filtração rápida e desinfecção. O tratamento convencional é destinado

principalmente para mananciais superficiais por apresentarem menor qualidade de água e, assim, necessitando de um maior nível de tratamento (HELLER; DE PADUA; DE PADUA, 2010).

Existe também os processos de tratamento que envolvem somente etapas de filtração precedidas de coagulação e, em alguns casos, por floculação, que são indicadas para mananciais com água de maior qualidade, principalmente com menor turbidez, cor e coliformes totais. Esse processo pode ocorrer com filtros descendentes, ascendentes ou ambos. Além da qualidade da água bruta, é importante analisar os recursos técnicos e financeiros a dispor para a realização da ETA. As ETAs necessitam, além dos equipamentos das operações, de laboratórios, sistemas de monitoramento, áreas para armazenamento de produtos químicos, além de pessoal qualificado. Uma das principais causas de problemas em relação a qualidade da água detectados após a etapa de tratamento, é a baixa qualificação de funcionários em ETAs (COSTA, 2015).

4.4.1 Coagulação

A etapa de coagulação tem como objetivo preparar a água bruta para outras etapas do tratamento. Assim, ela por si só não é responsável por alterar os parâmetros de qualidade da água, mas sim facilitar as etapas seguintes. A coagulação é a formação de coágulos de solutos de uma mistura pela inserção de substâncias chamadas de agentes coagulantes. Essas substâncias promovem a aglomeração de partículas em suspensão ou coloidais. Contaminantes muito pequenos que estejam bem dissolvidos serão mais difíceis de sofrer influência dos agentes (COSTA, 2015).

O fenômeno de coagulação acontece a partir do princípio de que as partículas coloidais possuem carga negativa dentro da mistura e por isso, se atraem à íons positivos dissolvidos na água, formando um coloide. A camada mais externa desse coloide interage com outros coloides semelhantes que se repulsam em decorrência da força eletrostática. Assim, o agente coagulante deve neutralizar ou diminuir a carga elétrica desses coloides para permitir que mais partículas se agrupem, formando coloides maiores (ROLLEMBERG; MAGALHÃES, 2020).

Existem diversos agentes coagulantes diferentes que podem ser empregados em ETAs e são divididos em dois grupos: metálicos e polieletrólitos. Como uma das principais propriedades que governam o mecanismo de coagulação são as cargas das partículas, é fundamental conhecer e monitorar o pH no qual ocorrerá a coagulação. Cada agente

coagulante possui uma faixa ótima de pH onde a substância apresentará melhor eficiência. A Tabela 3 apresenta os agentes coagulantes mais utilizados em ETAs e o intervalo de pH recomendado (COSTA, 2015).

Tabela 3 - Coagulantes e as respectivas fórmulas e faixa de pH

Coagulante	Fórmula	pH
Sulfato de alumínio	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	5,0 a 8,0
Policloreto de alumínio (PAC)	$Al_n(OH)_m \cdot Cl_{3n-m}$	5,0 a 10,0
Sulfato ferroso	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	8,5 a 11,0
Sulfato ferroso clorato	$FeSO_4 \cdot 7H_2O \cdot (1/2Cl_2)$	Acima de 4,0
Sulfato férrico	$Fe_2(SO_4)_3$	5,0 a 11,0
Cloreto férrico	$FeCl_3 \cdot 6H_2O$	5,0 a 11,0

Fonte: Costa (2015)

A escolha do agente coagulante deve ser feita com base em estudos técnicos, como ensaios químicos, e econômicos, determinando a dosagem que será aplicada e o pH de operação. Se o projeto dessa etapa não for realizado de forma adequada, a eficiência das etapas seguintes será comprometida. Caso a qualidade da água bruta não permita que os parâmetros de qualidade não sejam atingidos dentro do tempo necessário ou acarretem muitos custos, pode-se avaliar a inserção de auxiliares poliméricos na coagulação que, assim como os agentes coagulantes, devem ser avaliados em laboratório (HELLER; DE PADUA, 2010).

Para que a coagulação aconteça corretamente, é necessário que os agentes coagulantes estejam dispersos de forma homogênea na água, assegurando que muitas partículas entrem em contato com eles. Para isso, a coagulação ocorre em tanques de mistura rápida, que irão garantir que a dispersão ocorra no menor intervalo de tempo possível a fim de evitar que o agente coagulante reaja com ânions presentes na mistura. Assim, os principais parâmetros de operação da etapa de coagulação são o tempo de residência e o gradiente de velocidade (COSTA, 2015).

A mistura rápida pode ser realizada de forma mecânica ou hidráulica, sendo o último o mais utilizado no Brasil através de um instrumento chamado medidor de Parshall, uma calha com um encurtamento do espaço de escoamento que faz com que a água se agite, permitindo uma maior dispersão do coagulante e a medição da vazão. As unidades mecânicas são mais eficientes que as hidráulicas por permitirem variar o gradiente de velocidade, porém

apresentam um custo mais elevado. É importante estabelecer corretamente o local de aplicação do agente coagulante, que deve ser imediatamente antes do ponto de maior perda de energia e deve ser aplicado em doses periodicamente (HELLER; DE PADUA, 2010).

4.4.2 Floculação

Da mesma forma que a etapa de coagulação, a floculação deve preparar a água para as etapas seguintes, sem remover nenhum contaminante. Ela deve sempre ocorrer após a coagulação e tem o objetivo de aumentar o tamanho dos coágulos formados na etapa anterior, juntando os colóides em flocos. É uma etapa muito simples e que apresenta os mesmos parâmetros que a coagulação: gradiente de velocidade e tempo de residência (HELLER; DE PADUA, 2010).

A floculação também pode ser feita em unidades mecânicas e hidráulicas, apresentando as mesmas vantagens e desvantagens da etapa de coagulação. Na forma hidráulica, a água irá atravessar um caminho que apresenta várias mudanças de direção, enquanto a forma mecânica emprega equipamentos para realizar a agitação (COSTA, 2015).

4.4.3 Decantação

A decantação é uma técnica simples para separação de partículas de uma mistura e muito utilizada no tratamento de água. A mistura é inserida em um tanque onde a força da gravidade irá fazer com que as partículas de maior densidade se depositem no fundo, formando um lodo, e a água seja retirada em um ponto mais elevado do decantador. As etapas de coagulação e floculação, ao formarem partículas maiores e de maior densidade, tornam a etapa de decantação mais eficiente, permitindo maior economia no projeto. Sendo assim, é fundamental verificar se a coagulação e a floculação estejam ocorrendo corretamente em caso de baixa eficiência da decantação. Caso a decantação não seja precedida das etapas de pré-tratamento da água, será necessário um espaço muito maior para que ela ocorra (HELLER; DE PADUA, 2010).

O principal parâmetro que deve ser avaliado nesta etapa é a taxa de aplicação superficial (TAS), que é a razão entre a vazão e a área superficial do decantador e tem relação com a velocidade de sedimentação, sendo que quanto maior for a taxa, maior será a velocidade de decantação. Apesar disso, taxas menores permitem uma maior qualidade da água, porém exige que os tanques de decantação sejam maiores. Antigamente o projeto desta

etapa era feito a partir do tempo de residência, que costumava ser de 2 a 4 horas. Pelo fato de o tempo de residência ser uma consequência da TAS, hoje usa-se ela para o projeto. Ela deve ser estabelecida a partir de ensaios em laboratório, mas, caso isso não seja possível, a ABNT fornece recomendações de TASs para algumas faixas de vazões. Além disso, são utilizados modelos matemáticos para avaliar o comportamento das partículas ao ingressarem no decantador (COSTA, 2015; SCHORR, 2022).

O mecanismo que descreve a forma como as partículas decantam depende da concentração delas na água. Quando as partículas estão bem diluídas, ocorre a chamada sedimentação de tipo I, no qual as partículas decantam livremente, sem ocorrer muitas interações entre si. A sedimentação de tipo II, chamada também de sedimentação floculenta, acontece quando existem flocos de partículas que tornam a sedimentação mais acelerada e é muito presente em ETAs. Com altas concentrações de partículas na água, ocorre a sedimentação de tipo III, no qual as partículas apresentam maior dificuldade em decantarem. Esse tipo de sedimentação ocorre mais em estações de tratamento de esgoto, ou ETEs. Por fim, o último tipo de sedimentação, chamada de sedimentação de tipo IV ou por compressão, ocorre no fundo de tanques de decantação de ETEs, quando as partículas pressionam umas às outras expelindo a água ao redor delas (SCHORR, 2022).

Os decantadores são classificados em dois grupos: mecanizados e não mecanizados, que se diferenciam pela forma como o lodo é retirado do decantador. No caso dos decantadores mecanizados, o lodo é retirado a partir de raspadores mecânicos e são mais utilizados em decantadores de maiores dimensões. No caso dos decantadores não mecanizados, o lodo é retirado de forma hidráulica (SCHORR, 2022).

O decantador mais utilizado no Brasil é o decantador horizontal convencional, no qual a água ao entrar é distribuída em todo o tanque a partir de um dispositivo chamado de cortina de decantação. A água irá percorrer toda extensão do tanque em velocidades muito baixas, permitindo que as partículas decantem e se assentem no fundo. A água então é retirada por calhas (COSTA, 2015).

Existem ainda os decantadores de alta taxa, que apresentam dutos ou placas no seu interior. A presença desses equipamentos permite que o decantador atinja TAS maiores, permitindo a redução do tamanho do tanque ainda mais, em comparação com os decantadores convencionais. Contudo, nesses casos, a taxa de residência é muito menor (entorno de 60 min), o que dificulta uma resposta adequada pelos operadores no caso de um problema com o tratamento ser detectado. Para ambos os decantadores, a remoção do lodo pode ser tanto mecânica como hidráulica (HELLER; DE PADUA, 2010).

4.4.4 Flotação

A flotação, assim como a decantação, apresenta o mesmo objetivo: retirar partículas em suspensão. No caso da formação de flocos com velocidades de sedimentação muito baixas, pode-se tornar economicamente inviável realizar a etapa de decantação, já que seria necessário um decantador com dimensões muito grandes que, além de possuir um alto custo, poderia tornar o seu monitoramento e controle ineficientes. Nesse caso, é preferível o uso de flotadores (HELLER; DE PADUA, 2010).

Na flotação, as partículas são movidas para a superfície da água, ao contrário da decantação, no qual as partículas assentam no fundo. Isso ocorre graças a inserção de bolhas de ar no fundo do tanque que, ao ascenderem a superfície, se chocam com as partículas que são aderidas a superfície das bolhas, por causa da tensão superficial. Assim, flotação exige equipamentos mais complexos do que a decantação, o que acarreta maiores custos tanto de instalação, como de operação. Mesmo assim, existem diversas vantagens que os flotadores apresentam em relação aos decantadores, como: necessita de menos espaço, gera lodo com maior concentração de partícula e permite diminuir os gastos e o tempo das etapas de coagulação e floculação (HELLER; DE PADUA, 2010).

A flotação também permite retirar contaminantes de difícil remoção, como metais. Por isso, e pelas características previamente citadas, a flotação é muito utilizada no tratamento de efluentes industriais, que costumam apresentar contaminantes mais variados do que nas ETAs. Nesse caso, o tipo de flotação mais recomendado é a flotação por ar dissolvido (FAD) com recirculação, por ser mais eficiente no caso de flocos frágeis. Nele ocorre a recirculação de uma parcela da água retirada do tanque ou após a etapa de filtração (HELLER; DE PADUA, 2010).

Um parâmetro importante para essa etapa é o tamanho das bolhas, que depende da forma de inserção delas no tanque. O ideal são bolhas pequenas, já que elas diminuem o volume de água que é arrastado com elas, evitando turbulência. Além disso, deve se avaliar a necessidade de aplicação de produtos químicos para atender as demandas do projeto. Essas substâncias facilitam a adesão das partículas a superfície das bolhas, contudo podem ser um contaminante a mais no caso de ETAs. Assim como a decantação, a TAS é usada de forma semelhante, agora representando a velocidade de ascensão das partículas pelas bolhas (HELLER; DE PADUA, 2010; DO AMARAL, 2011).

Uma forma de diferenciar os tipos de flotação é a partir do mecanismo de inserção das bolhas no flotor. Nos sistemas FAD, que já foi citado, é o tipo mais empregado nas

indústrias, a água é saturada de ar por um equipamento mecânico, como um compressor, antes de entrar no tanque. Assim, com a variação da pressão ao entrar no flotor, as bolhas serão liberadas. No caso da FAD com recirculação, a água que retorna ao flotor é saturada ao invés da água de entrada. Na flotação eletrolítica, as bolhas são formadas a partir da reação de eletrólise da água, que libera oxigênio. Por poder haver outros produtos formados na reação, ela não é recomendada para sistemas de abastecimento de água, para se evitar contaminação. Por fim, na flotação por ar disperso, o ar é inserido diretamente no tanque e as bolhas são dispersadas no seu interior por placas. Nesse caso, as bolhas inseridas costumam ser de tamanhos maiores, o que dificulta a operação no caso de ETAs (DO AMARAL, 2011).

4.4.5 Filtração rápida

A etapa de filtração consiste em separar partículas contaminantes ao se passar a água por um meio poroso ou granular, sendo a areia sustentada por seixos o tipo mais utilizado. Essa etapa não necessariamente precisa ser precedida pelas etapas de pré-tratamento e/ou clarificação, apesar de ser muito indicado a etapa de coagulação. Existem dois tipos de filtração para o tratamento de água no sistema de abastecimento: a filtração lenta e a filtração rápida. A primeira é mais indicada para o tratamento de pequenas vazões de água e com de maior qualidade. Por isso e, por exigir maior área de filtração, os filtros lentos perderam espaço para os filtros rápidos na última década, que, por sua vez, permitem tratar uma maior vazão de água de menor qualidade (COSTA, 2015; SCHORR, 2022).

Na filtração rápida, ocorre a ação de três mecanismos: transporte, aderência e desprendimento. Primeiramente o mecanismo de transporte irá conduzir as partículas com a água para as proximidades da camada mais externa do meio poroso, chamado de coletor. A partir de então, as partículas irão aderir à superfície do coletor, graças às forças de ação superficial. À medida que as partículas são aderidas, o volume acumulado irá diminuir o espaço dos poros, o que irá resultar em algumas partículas sendo arrastadas para outra camada do coletor, onde os mecanismos irão se repetir (HELLER; DE PADUA, 2010).

Após um determinado tempo de uso, chamado de carreira de filtração, o filtro deve ser lavado para retirar as partículas retidas. Idealmente isso deve ocorrer quando a água que passa por ele não possui qualidade condizente com a esperada e quando a perda de carga provinda do acúmulo de partículas atinge seu nível máximo. Contudo, nem sempre é possível determinar um tempo em que ambos os critérios são atingidos, sendo necessário priorizar o critério de qualidade acima do critério da perda de carga. A lavagem pode ser feita utilizando

ar, água ou ambos aplicados no sentido ascensional para que o meio filtrante se expanda, permitindo maior eficiência na limpeza (HELLER; DE PADUA, 2010).

A filtração rápida pode ser feita, principalmente, por filtros ascendentes ou descendentes. A principal diferença entre eles é o sentido no qual a água irá passar pelo coletor. Na filtração ascendente, a água passa de baixo para cima e é escoada por uma calha. Isso faz com que as partículas de maior diâmetro do coletador fiquem na parte inferior, enquanto as partículas menores fiquem na parte superior. No caso da filtração descendente, a água passa de cima para baixo, comprimindo o coletor. A principal vantagem dele para o ascendente é a garantia de não contaminação da água tratada durante a limpeza, já que a saída da água tratada é no sentido oposto da água de lavagem (COSTA, 2015).

Os parâmetros que mais afetam a etapa de filtração são as características do coletor, das partículas em suspensão, as condições de operação as necessidades do projeto. Esses parâmetros, no geral, devem ser considerados tanto na etapa de projeto como monitorados ao longo da operação (HELLER; DE PADUA, 2010).

4.4.6 Desinfecção

Até então, as etapas que foram citadas focam em preparar a água ou retirar partículas gerais dela. Porém, muitas vezes, essas etapas, apesar de ajudar, não conseguem diminuir de forma efetiva a quantidade de microrganismos presentes na água para torná-la adequada ao consumo. Assim, é necessário implementar uma etapa focada em atacar bactérias, vírus, vermes e protozoários patogênicos. Importante pontuar que essa etapa não objetiva a total destruição de todos os microrganismos da água, que seria uma esterilização, mas sim destruir totalmente ou parcialmente somente os microrganismos patogênicos (RICHER; NETTO, 1991).

Existem diversas formas de realizar a desinfecção da água, porém o mais comum, principalmente em ETAs, é a aplicação de uma substância química que irá destruir a estrutura celular do microrganismo, interferir no seu metabolismo ou interferir na sua biossíntese e no seu crescimento celular. Para que um agente desinfetante possa ser usado em uma ETA, ele deve: não ser tóxico à seres humanos e animais domésticos, não alterar significativamente o odor e sabor da água, destruir os microrganismos em um tempo apropriado e atendendo o nível necessário de qualidade, permitir o monitoramento de sua concentração de forma rápida e eficaz, além de ser economicamente viável. Os principais agentes desinfetantes são o cloro, bromo, ozônio, iodo, permanganato de potássio, peróxido de hidrogênio e íons metálicos

(HELLER; DE PADUA, 2010).

A substância mais empregada em ETAs é o cloro por ser barato e de fácil aplicação, além e atender os pré-requisitos citados anteriormente. Ele costuma ser utilizado nas formas de gás cloroso, hipoclorito de sódio e hipoclorito de cálcio, sendo os dois últimos mais empregados em ETAs menores. Contudo, o cloro apresenta algumas desvantagens características dele, como ser tóxico e corrosivo na sua forma gasosa. Além disso, foi constatado no últimos anos a formação de triahlometanos (THM) pela reação do cloro com algumas substâncias presentes na água. Esses compostos são muito danosos à saúde humana, podendo causar câncer. Assim, é estabelecida uma quantidade máxima aceitável desses compostos na água após a desinfecção. Se as características da água em tratamento exigem uma quantidade de cloro que irá elevar a quantidade de subprodutos acima do permitido, é necessário avaliar a implementação de outra substância (COSTA, 2015; HELLER; DE PADUA, 2010).

É importante frisar que nem todo subproduto do cloro é danoso à saúde humana ou deve ser evitado. Alguns subprodutos, como o ácido hipocloroso, são chamados de cloro residual por prevenir que contaminação que possam ocorrer nos reservatórios ou na etapa de distribuição comprometa a qualidade da água. O ministério da Saúde do Brasil estabelece que a água deve conter 0,5mg/L de cloro residual após a desinfecção e que seja feita a manutenção de, pelo menos, 0,2 mg/L em algum ponto da rede de distribuição (HELLER; DE PADUA, 2010).

Como é muito difícil determinar todos os microrganismos presentes na água, costuma-se determinar o número mais provável de coliformes e utilizá-lo como parâmetro para indicar a probabilidade de contaminação para realizar a etapa de projeto e para seu monitoramento, que deve ser feito não só na água tratada ao sair da desinfecção, como na rede de distribuição, reservatórios e na captação da água bruta. O cloro pode ser aplicado na água de diversas formas, como por bombas dosadoras de diafragmas ou pistão, hidrojatores a vácuo, dosadores de nível constante etc. Na etapa de projeto é necessário avaliar qual é o melhor equipamento considerando as condições de operação. Um parâmetro importante que deve ser monitorado e estabelecido na etapa de projeto é o pH, já que ele afeta a formação de subprodutos do cloro (HELLER; DE PADUA, 2010; COSTA, 2015).

4.4.7 Fluoretação

A etapa de fluoretação, diferente das etapas anteriores, não tem como objetivo pré

tratar a água ou retirar contaminantes e microrganismos. A aplicação de flúor na água é uma medida preventiva para combater a cárie e a degradação do esmalte dentário, prevenindo que 50% a 65% da população que consumiu água desde a infância contraia essas complicações. Essa etapa é pouco custosa e economiza gastos da saúde, já que um estudo realizado nos EUA determinou que a cada 1 dólar gasto na fluoretação da água, economiza 36 dólares no tratamento de cárie (JÚNIOR, 2012).

Assim como o cloro na etapa de desinfecção, o flúor pode ser aplicado em diversas formas, como ácido fluorsilícico, fluorsilicato de sódio, fluoreto de sódio e fluoreto de cálcio. Para realizar a aplicação, costuma-se utilizar bombas dosadoras (HELLER; DE PADUA, 2010).

4.5 Reservatórios

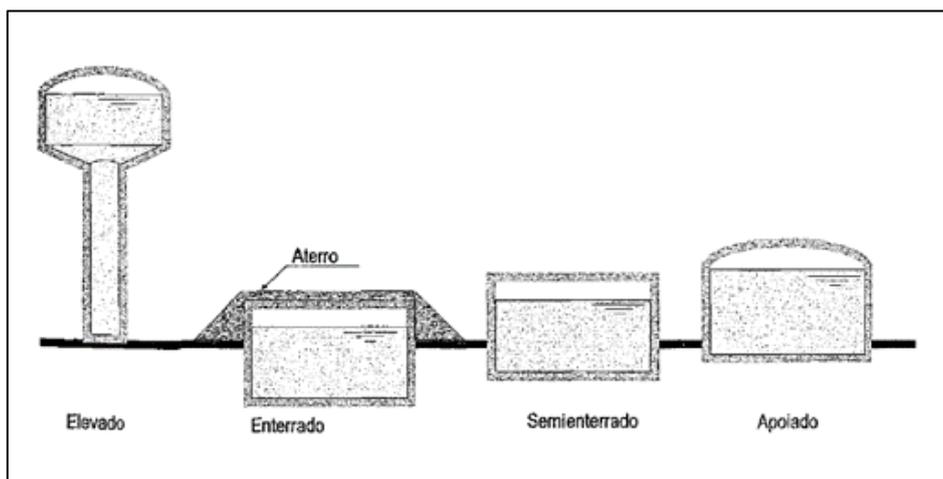
Os reservatórios são instalações que armazenam uma certa quantidade de água já tratada antes de ser destinada à distribuição. Existe também reservatórios ao longo da adução de água bruta, porém os mais comuns são os reservatórios de água tratada. As funções de um reservatório são adequar a vazão de adução à vazão de distribuição, já que a vazão de adução nem sempre é dimensionada para atender a demanda de consumo da região que varia ao longo do dia, regular a pressão no local do sistema e garantir a continuidade do abastecimento em casos de emergência, como incêndios ou paradas para manutenção. Além desses pontos, os reservatórios permitem que a adução funcione em períodos menores, já que, no caso de uma vazão de adução constante, a água reservada durante o período com menor demanda pode garantir a distribuição em quanto as bombas estão inoperantes. Isso acarreta uma redução nos custos com energia elétrica e é utilizado quando a tarifa está elevada (HELLER; COELHO; LIBÂNO, 2010).

Os reservatórios ficam espalhados em pontos estratégicos do sistema de abastecimento e podem ser classificados de acordo com a sua posição em relação ao sistema ou com o terreno em que foram construídos. Em relação ao sistema, os reservatórios podem estar tanto a montante, no qual toda água a ser distribuída passará por um reservatório, como a jusante, no qual o reservatório não está diretamente ligado à rede de distribuição, permitindo o controle do seu enchimento ou esvaziamento, sendo chamado também de reservatório de sobra. Os reservatórios a montante são os mais utilizados e podem não só garantir o abastecimento constante como diminuir a variação da carga piezométrica ao longo

da rede de distribuição decorrente da variação da demanda de água ao longo do dia, se forem instalados próximos aos pontos finais da rede (COSTA, 2015).

A segunda forma de se classificar os reservatórios é de acordo com a sua posição em relação ao terreno ou cota do local. A Figura 8 apresenta os tipos mais comuns dessa classificação.

Figura 8 - Tipos de reservatórios



Fonte: Adaptado de Heller e De Pádua (2010)

O reservatório elevado se encontra totalmente acima da cota do terreno e costuma apresentar um volume menor do que os outros tipos. A sua principal função é adequar a pressão dinâmica garantindo que esteja acima do valor mínimo, uma dificuldade em regiões em altitudes elevadas. Por essa característica, esses reservatórios são, muitas vezes, alimentados por uma estação elevatória e, por isso, a tubulação de entrada deve ser posicionada no topo do reservatório, já que isso impede que a variação do nível dele não afete a eficiência das bombas (COSTA, 2015).

Os demais reservatórios estão totalmente (enterrado) ou parcialmente (semienterrado e apoiado) abaixo da cota do terreno. Os reservatórios semienterrados apresentam um terço do seu volume acima da cota e os apoiados, dois terços. Por estarem apoiados no solo, eles podem armazenar um volume maior de água do que os reservatórios elevados, e por isso são os mais utilizados caso não seja necessário adequar a pressão dinâmica, sendo preferível o elevado nesse caso. Por motivos de construção e estabilidade, os reservatórios semienterrados são os mais utilizados. Caso seja necessário armazenar um grande volume de água e ainda adequar a pressão dinâmica, pode ser instalado um reservatório semienterrado seguido de um elevado. Nessa situação, a adução alimenta o reservatório semienterrado que, por sua vez,

alimenta o reservatório elevado (GUIMARÃES et al, 2007).

Para realizar o projeto dos reservatórios, além selecionar o tipo de reservatório, é necessário estipular o volume de reservação, isto é, o volume estipulado pelo limite máximo do reservatório, com base na demanda do local, vazão de adução e utilidade do volume. Além do limite máximo, que tem como propósito evitar sobrecarga, deve existir um limite mínimo para o volume, com a finalidade de evitar problemas com a operação e qualidade da água, como arraste de partículas decantadas e criação de vórtices (HELLER; COELHO; LIBÂNO, 2010).

Um reservatório pode providenciar uma maior economia do sistema, permitindo que a adução opere à uma vazão menor do que a demanda máxima de água, fazendo com que haja um acúmulo que será usado nos períodos de maior demanda. Em cidades com baixa ou média demanda, é possível também interromper completamente a adução de forma intencional para aumentar ainda mais a economia durante períodos. Nesses casos, a adução costuma operar em períodos de 16 ou 20 horas (COSTA, 2015).

Em relação ao volume destinado a emergências, é difícil realizar um cálculo preciso para determiná-lo. No Brasil, faz-se muito uso de reservatórios domiciliares, chamados popularmente de caixa d'água, que permitem armazenar uma quantidade relativamente pequena de água em comparação aos reservatórios citados anteriormente, mas suficiente para manter o abastecimento de um domicílio por certo período, o que torna o volume emergencial menor necessário para casos de paralização. Para o caso de manutenção programada, é possível calcular o volume a partir do período que irá demorar para a manutenção acontecer e, para o caso de aumento de demanda para combate de incêndios, existem estudos de outros países que indicam volumes de emergência com base no tempo para apagar as chamas. Contudo, no Brasil, pelo limite tecnológico do país e da grande diferenças regionais, assume-se um valor do volume de emergência deva ser igual a um terço do consumo diário do local (HELLER; COELHO; LIBÂNO, 2010).

Os reservatórios podem ser constituídos de diversos materiais. Contudo, no Brasil, a maioria deles é feito de concreto armado, mas existem alternativas de aço, alvenaria e concreto protendido. Os reservatórios costumam na maior parte das vezes, apresentar formato circular com teto em forma de domo. Porém existem também reservatórios quadrados e com teto plano. No caso de reservatórios elevados, o formato deles são mais específicos, como em forma de cilindro ou tulipa (COSTA, 2015).

Além dos tanques de armazenamento, os equipamentos utilizados nos reservatórios são relativamente simples. As tubulações de entrada e de saída devem-se, idealmente,

estarem posicionados no topo e no nível do limite mínimo, respectivamente. Sensores e válvulas devem ser empregados para realizar o controle do nível do tanque a partir da tubulação de adução e de saída. Os reservatórios possuem também extravasores, que liberam uma certa quantidade de água sem a necessidade de controladores se o nível do reservatório atingir o limite máximo. Nesse caso, a água retirada é conduzida por condutos até o sistema de drenagem municipal. No caso de reservatórios elevados, pode ser necessário inserir um dissipador de energia para evitar desgastes do solo e de equipamentos. De forma semelhante, deve haver um sistema de drenagem de fundo para retirar todo o volume de água no tanque para o caso de manutenção. Por fim, também é necessário haver um sistema de ventilação para liberar ou permitir a entrada de ar caso haja uma variação muito rápida do nível do tanque (HELLER; COELHO; LIBÂNO, 2010).

Uma questão de extrema importância que costuma ser negligenciada em reservatórios é a qualidade da água. A falta de luz e a tendência de um alto tempo de residência no interior do tanque, atrelado à falta de equipamentos de monitoramento de qualidade da água, resultam em problemas grandes para o sistema de abastecimento e a população abastecida. Mesmo tendo a água já sido tratada, as condições citadas anteriormente podem levar alguns parâmetros fora das margens aceitas para o consumo humano e ainda a proliferação de microrganismos. Existem casos de grandes surtos de doenças causados pela baixa qualidade da água em reservatórios (HELLER; COELHO; LIBÂNO, 2010).

Os fatores que mais prejudicam a qualidade da água nos reservatórios são o tempo de residência elevado, baixa mistura da água no interior, possível absorção de matéria das paredes do tanque no caso do concreto, presença de bactérias e amônia e ausência de luz. É importante dizer que de todos os fatores, o alto tempo de residência é o que precisa receber maior atenção, já que ele potencializa os outros fatores (HELLER; COELHO; LIBÂNO, 2010).

4.6 Rede de distribuição

As redes de distribuição de água correspondem a etapa mais extensa e mais custosa de todo o sistema de abastecimento de água. Segundo Tsutiya (2002), de 50% a 70% dos gastos em construção de todo o sistema de abastecimento de água é direcionado para as redes de distribuição. Ao contrário das etapas de reservatórios e de adução, as redes de distribuições somente comportam a água tratada. O objetivo da etapa é distribuir à população a água tratada e pronta para o consumo a partir de grandes redes de tubulações que percorrem

centenas de quilômetros (COSTA, 2015).

As redes de distribuição são compostas, no geral, por tubulações primárias, aquelas responsáveis por levar a água da ETA ou do reservatório para as áreas de abastecimento e apresentam maior diâmetro, e as tubulações secundárias, aquelas responsáveis por ligar as tubulações primárias às residências. É importante salientar que os sistemas internos das residências, bem como caixas d'água, não são de responsabilidade das instituições de abastecimento de água e por isso não fazem parte do sistema de distribuição (HELLER; DE PADUA; PRINCE, 2010).

A classificação da distribuição é, na maioria das vezes, feita em relação ao traçado das tubulações. Existem dois tipos: redes ramificadas e redes malhadas. O primeiro tipo é o mais simples e ocorre quando a distribuição para as residências é feita por uma tubulação secundária que por sua vez é alimentada por uma tubulação principal. Esse tipo de rede é utilizado principalmente em regiões isoladas e com baixa densidade populacional. O principal problema desse esquema de tubulações é que, como as tubulações secundárias são alimentadas por um único caminho, qualquer problema que ocorra em uma das tubulações, irá interromper a distribuição do local completamente (TSUTIYA, 2002).

As redes malhadas são mais amplamente utilizadas e dificultam o acontecimento do problema citado nas redes ramificadas. Nesse traçado, as tubulações primárias são postas de forma a estabelecer anéis ou blocos onde o abastecimento pode ser feito por vários caminhos. Ainda é possível projetar uma rede mista que contenha tanto redes malhadas como redes ramificadas (TSUTIYA, 2002).

O projeto das redes de distribuição é feito com base em diversos estudos e definido os parâmetros de operação com base neles. Os principais parâmetros a serem definidos são as vazões de distribuição, a área a ser abastecida, as zonas de pressão, diâmetros e comprimento das tubulações, e o volume e nível dos reservatórios, caso não tenha sido feito na etapa anterior. Os valores de parâmetros como vazão e dimensões das tubulações costumam ser tabelados ou indicados pela ABNT. A delimitação das áreas de abastecimento pode ser feita a partir da densidade populacional das áreas ou pela vazão específica delas, que depende da demanda. As zonas de pressão são delimitadas de forma a garantir que toda a rede de distribuição opere com pressão entre os limites mínimos e máximos. A pressão mínima é estabelecida para garantir que a água transportada vença os obstáculos geográficos e que não haja refluxo, enquanto a pressão máxima é delimitada para evitar danos aos equipamentos e grandes perdas de água (HELLER; DE PADUA; PRINCE, 2010).

O principal equipamento das redes de distribuição são as tubulações, que podem ser

tanto de metais, como de PVC ou outros materiais plásticos. Existem diversos equipamentos envolvidos, como válvulas de controle de vazão ou de pressão, bombas, se for necessária uma estação elevatória, válvulas de descarga e válvula de manobra (HELLER; DE PADUA; PRINCE, 2010).

4.7 Perdas de água

Talvez o principal problema para as instituições responsáveis pelo abastecimento de água seja a perda durante a etapa de distribuição. Em 2020, 40,1% de toda água tratada no Brasil foi perdida nas etapas de adução, reservação e distribuição. Segundo o SNIS, em 2018 as perdas de água resultaram na perda de 12 bilhões de reais em faturamento. Por esse motivo, as companhias de abastecimento adotam constantemente medidas para identificar as perdas e combatê-las (COSTA, 2015).

Existem duas categorias utilizadas para identificar o tipo de perda. As perdas reais ou físicas ocorrem quando existe a perda de volume de água ao longo do processo, na maioria dos casos por causa de vazamentos em reservatórios ou na distribuição. Para compensá-las, é necessário aumentar o volume de água na captação, acarretando em maiores custos na etapa e maior impacto ambiental. Além disso, os vazamentos podem levar à contaminação da água e prejudicar a infraestrutura do local. O outro tipo de perda são as aparentes ou não-físicas, que estão relacionadas a erros de medição ou uso fraudulento da água. Nesse caso, a água é consumida, mas não é faturada pela companhia, o que pode acarretar tanto em perda de receita para a instituição, como maiores gastos para o consumidor (TSUTIYA, 2002).

A determinação de todos os usos da água ao longo do processo de abastecimento traz diversos benefícios para as companhias e são fundamentais para o entendimento e identificação das perdas do sistema. Essa técnica é chamada de balanço hídrico e ela dispõe os fluxos de água ao longo do processo. Para que o balanço gere resultado, é necessário que diversas medições sejam feitas ao longo das etapas do processo por um determinado período, normalmente igual a 12 meses (TSUTIYA, 2002).

Para realizar a mensuração das perdas ao longo do sistema, diversos indicadores podem ser empregados e utilizados de acordo com a necessidade da gestão. Os indicadores podem ser calculados para o sistema inteiro ou por partes dele, como a partir da saída da ETA até o consumidor final. É importante frisar que as perdas que ocorrem após a entrega ao consumidor, como vazamentos em caixas d'água, não são de responsabilidade das

companhias de abastecimento e, por isso, não entra no cálculo dos indicadores. O indicador mais utilizado é o indicador percentual, que se refere a razão entre o volume perdido pelo volume total fornecido pelo sistema ou pela etapa. Esse indicador, apesar de ser prático, tem como desvantagem a dificuldade de comparar a eficiência do sistema em questão com outros sistemas, já que existem diversas variações possíveis. Por isso, indicadores que levam em consideração a extensão da rede ou o número de ramais são utilizados também (TSUTIYA, 2002).

4.8 PROPOSTA DE IMPLEMENTAÇÃO DE CONCEITOS DA INDÚSTRIA 4.0

O processo de abastecimento de água apresenta algumas características que podem tornar vantajosa a implementação de sistemas a partir de conceitos da indústria 4.0. As companhias de abastecimento no mundo inteiro possuem o desafio de garantir a eficiência e sustentabilidade do processo frente às mudanças climáticas e ao rápido crescimento populacional, que estão tornando a água um recurso cada vez mais valioso. Atualmente, um dos principais problemas do sistema de abastecimento são as extensas perdas de água ao longo do processo, que acabam aumentando não só os gastos, mas também a exploração dos mananciais (POLJAK, 2018).

Um requisito do processo é que os parâmetros de qualidade, como pH e turbidez, e operação, como vazão e pressão, devem ser monitorados em diversos pontos ao longo do processo para garantir a qualidade da água e a eficiência do processo. Como os sistemas de abastecimento costumam se estender por centenas de quilômetros, essa tarefa não é simples, mas pode ser otimizada pela implementação de sistemas de sensores com IoT, que permitem aos operadores monitorarem o processo de forma mais eficiente. Muitas companhias não monitoram os parâmetros do processo continuamente, sendo que alguns são avaliados somente anualmente, o que dificulta a avaliação de problemas e a agilidade em combatê-los. Além disso, alguns métodos convencionais de monitoramento de qualidade da água fazem uso de análises em laboratório, o que pode agravar ainda mais no tempo de resposta de possíveis problemas no processo (TSUTIYA, 2002; WONG et al, 2021).

Ainda em relação à extensão dos sistemas de abastecimento, mesmo quando um problema é detectado, a resposta a ele muitas vezes pode demorar, já que exige o deslocamento de equipes técnicas até o local. O uso de sistemas de inteligência artificial, junto aos sensores conectados à internet, pode permitir não só uma resposta mais rápida, já

que torna a detecção de problemas mais ágil, como permite também uma potencial automatização do processo (NICOLAE; KORODI; SILEA, 2019).

Para que o processo funcione de forma eficiente e consiga atender as demandas futuras, é necessário que a etapa de projeto seja feita corretamente, levando em consideração o máximo de informações ao alcance dos projetistas. Muitas dessas informações são coletadas a partir de estudos da região em que o sistema será construído. Caso esses estudos não existam ou não sejam precisos o suficiente, é necessário realizá-los. Drones podem capturar imagens aéreas da região e outras informações que antes necessitariam do emprego de helicópteros ou não eram economicamente viáveis de se obter. Além disso, o uso de tecnologias de *Big Data* pode facilitar aos projetistas a analisar esses dados de forma mais eficiente e obter conclusões mais embasadas (STANKOVIC et al, 2020).

4.8.1 Sensores com IoT e tecnologias Big Data

As companhias de abastecimento de água poderiam se beneficiar bastante ao adotar sensores com IOT. Esses sensores mediriam os principais parâmetros da água e do processo, como turbidez, pH, pressão e vazão, e, por estarem conectados à internet, conseguem enviar as leituras em tempo real para o centro de operação, que pode estar a quilômetros de distância do ponto de observação. Além disso, esses sensores permitem que as leituras sejam feitas em frequências maiores do que os sensores convencionais ou até mesmo de forma contínua. Se o sistema for integrado a tecnologias de Big Data, irá permitir que os dados observados sejam armazenados, criando um histórico do processo que pode ser analisado para identificar padrões e prevenir problemas (WONG et al, 2021 e STANKOVIC et al, 2020).

Por existirem diversos parâmetros diferentes ao longo de todo o processo de abastecimento, as aplicações dos sensores são muito amplas e permitem lidar com diversos problemas diferentes, desde vazamentos até transparência dos dados. Em 2021, Thenmozhi e colaboradores publicaram um artigo onde propuseram um sistema com sensores de vazão conectados à internet que monitoram possíveis vazamentos. Quando um vazamento é detectado, o sensor emite um sinal para uma válvula solenoide que irá fechar e impedir a passagem de água. Além disso, o sensor também possui um rastreamento por GPS, que permite que o sistema envie a localização da região onde o vazamento está acontecendo. Esse sistema permite uma detecção mais eficiente e respostas mais rápidas a vazamentos, evitando maiores perdas (THENMOZHI et al, 2021).

Gonçalves, Soares e Lima (2020) publicaram um artigo onde propuseram e testaram

um sistema com IoT e outras tecnologias chamado REFlex Water para o monitoramento da vazão em vários pontos do processo de abastecimento e o nível de água no interior de reservatórios. Esse sistema fornece dados que facilitam a operação do processo, como a gestão de bombas, se controladores forem integrados ao sistema, além de poder ajudar na detecção de vazamentos (GONÇALVES; SOARES; LIMA, 2020).

Apesar de sistemas com IoT e Big Data apresentarem várias vantagens, como maior eficiência no monitoramento de parâmetros e mais agilidade no combate às falhas e problemas no processo, existem alguns obstáculos que podem dificultar sua ampla implementação no Brasil. Esses sistemas exigem, muitas vezes, infraestruturas complexas, o que implica não só num maior capital necessário para sua implementação, como pessoal com grande conhecimento técnico do assunto. O Brasil apresenta problemas graves de infraestrutura de redes, o que dificulta a implementação de equipamentos conectados à internet e sistemas de banco de dados para armazenamento dos dados coletados (STANKOVIC et al, 2020).

Apesar do alto custo de implementação, a operação de sistemas com IoT podem ser menos custosas do que em sistemas convencionais de monitoramento, por exigir menos operadores e combater de forma mais eficiente os gastos relacionados a perdas de água e outros problemas. Além disso, Wong et al (2021) desenvolveram um sistema de monitoramento de nível de água em reservatórios e turbidez com equipamentos montados com impressão 3D que, se amplamente implementado, poderia diminuir os custos de equipamentos na implementação de sistemas com sensores com IoT (WONG et al, 2021; STANKOVIC et al, 2020).

4.8.2 Inteligência artificial

Existem diversas aplicações para a tecnologia de inteligência artificial, tanto no processo de abastecimento de água como em seu projeto. Doorn (2021) realizou um estudo onde identificou, através de pesquisas bibliográficas, estudos com aplicações de tecnologias de inteligência artificial no setor de abastecimento de água. No estudo, o autor divide as aplicações em quatro categorias: modelagem, previsão, apoio à tomada de decisão e gerenciamento operacional e, por fim, otimização (DOORN, 2021).

Em relação a modelagem, segundo o autor, a maioria das aplicações são relacionadas ao aumento de precisão e redução de incertezas na etapa de projeto do processo. Como exemplo, o autor cita um estudo que propõe o uso de inteligência artificial para auxiliar no

projeto de sistemas de reservatórios. O modo convencional de realizar esse projeto é a partir de séries históricas do consumo de água da região que será abastecida. O problema desse método está relacionado no fato de que ele aproxima um comportamento não-linear em linear, o que pode prejudicar o processo futuro em casos de sistemas de abastecimento mais complexos. Para essa aplicação, poderia ser utilizado tanto redes neurais como redes lógicas difusas, que utilizam dados para identificar padrões. O autor do estudo identificou melhoras no uso desse método em comparação aos métodos convencionais (DOORN, 2021).

Na parte de previsão, o autor cita como proposta um sistema para a previsão da formação de triahlometanos nas águas cloradas. O método convencional para a medição de THM na água é feito em laboratórios, já que exige análises mais específicas. Com o método proposto, a previsão é feita com base em parâmetros mais fáceis de medir, como pH, temperatura e concentração de outros compostos. O estudo mostrou que o método foi eficaz em substituir o método convencional, conseguindo prever corretamente a formação de THM (DOORN, 2021).

Em relação às soluções de apoio à tomada de decisão e gerenciamento operacional, as principais finalidades delas são de detecção de eventos e aviso prévio. O autor cita a aplicação de tecnologia de inteligência artificial para detectar contaminação acidental da água ao longo do processo por contaminantes orgânicos. O método convencional é realizado a partir do monitoramento rotineiro de alguns parâmetros da água, como pH e turbidez, e comparação com uma água não contaminada. Quais quer desvios significativos significam que a água pode estar contaminada. Contudo, alguns processos comuns para uma planta de abastecimento, como manutenção de equipamentos, podem fazer com que os parâmetros se alterem significativamente, fazendo com que o método em questão só possa ser aplicado quando o processo está “estável”. O método proposto utiliza as propriedades espectroscópicas da água e compara a partir de algoritmos que seleciona os parâmetros que mais definem a contaminação da água. A solução conseguiu identificar a contaminação da água de forma eficaz, até mesmo com baixas concentrações de contaminantes e com poucos resultados falso-positivos (DOORN, 2021).

Por fim, na parte de otimização, o autor cita uma solução para a alocação de recursos para manutenção. Quando a infraestrutura do processo de abastecimento de água apresenta falhas, pode acontecer interrompimento do abastecimento. Para evitar isso, é importante realizar manutenções periódicas antes que os equipamentos apresentem problemas. Contudo, determinar o momento para isso não é uma tarefa fácil. A solução proposta utiliza

inteligência artificial para analisar séries históricas de parâmetros do sistema onde houve falhas a fim de identificar padrões e comparar os parâmetros do sistema em operação, atribuindo pontuações de risco para determinadas áreas da região de abastecimento, permitindo que as autoridades consigam identificar quais pontos necessitam de manutenção (DOORN, 2021).

A implementação de tecnologias de inteligência artificial, se for feita junto com sistemas de Big Data e sensores IoT, pode ajudar em muito a gestão do processo de abastecimento, fornecendo mais dados para otimização e tomada de decisão. Contudo, assim como sensores IoT e Big Data, é necessário um grande conhecimento técnico para sua aplicação. Além disso, é necessário que o software seja adequado para a operação e projetadas para atuar em tarefas muito bem especificadas. Se esses pontos não forem levados em consideração, o sistema pode fornecer resultados inapropriados (STANKOVIC et al, 2020).

4.8.3 Drone

Por serem relativamente baratos, os drones são muito utilizados como substitutos em funções e atividades que antes seria necessário um meio de transporte como helicópteros, fazendo com que a acessibilidade a certos dados aumente. Os drones costumam possuir sistemas de GPS, câmeras ou sensores e outros equipamentos que podem coletar informações de locais de difícil acesso ou de grandes áreas (STANKOVIC et al, 2020).

Um uso para os drones no sistema de abastecimento de água é a coleta de amostras de água em grandes mananciais superficiais, como rios ou barragens, para averiguar a sua qualidade. Benson et al (2019) desenvolveram um sistema com drones para coletar amostras de água da superfície de lagos para realizar análises para a detecção de microrganismos. O drone era equipado com um amostrador ligado com um cabo de 4,5 metros, permitindo a coleta da amostra em diversas profundidades. Eles realizaram testes na Austrália que provaram que o sistema era capaz de desempenhar tal tarefa, conseguindo traçar um perfil da presença de bactérias ao longo do lago. Essa tecnologia permitiria a companhias de abastecimento monitorar de forma mais eficiente a qualidade da água de pontos mais distantes da borda de mananciais superficiais, conseguindo detectar contaminações antes delas chegarem no ponto de captação.

Uma empresa inglesa chamada Anglian Water utilizou drones para detectar

vazamentos. O drone era equipado com câmeras térmicas que observavam o solo ao redor de tubulações subterrâneas. Variações significativas da temperatura do solo poderiam indicar um vazamento. Os voos eram realizados de manhã, quando a temperatura da água se encontra aproximadamente 10°C mais quente do que o solo. A imagem produzida pelo drone é analisada por softwares a partir da faixa de temperatura da própria imagem. Em 2018, a tecnologia permitiu economizar por volta de 700 mil reais ao identificar de forma mais eficiente os vazamentos. A empresa constatou que a tecnologia funcionou de forma eficiente tanto em zonas rurais como urbanas, onde a detecção deve ser feita através do asfalto. Essa solução pode ser interessante para companhias que não possuem estrutura para implementar sensores IoT para monitoramento de vazamentos (STANKOVIC et al, 2020).

O baixo custo de drones abre diversas oportunidades para empresas no geral. Contudo, ainda existem algumas barreiras que possam desacelerar a ampla implementação dessa tecnologia. No Brasil, a utilização de drones não é completamente regulada, o que acaba deixando questões importantes sem resposta, como limites de distância e capacidade de peso, privacidade e treinamento de operadores. Apesar de ser uma tecnologia relativamente simples, ainda sim é necessário pessoal capacitado e infraestrutura suficiente para operação dos drones (STANKOVIC et al, 2020).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi possível apresentar os principais pontos das etapas do processo convencional de abastecimento de água no Brasil, citando alguns dos equipamentos necessários e possíveis problemas que possam ocorrer ao longo da operação. Além disso, foi possível identificar em um estudo bibliográfico, formas de aplicar conceitos da indústria 4.0 no processo em questão. É interessante notar como algumas das aplicações citadas podem ajudar a solucionar ou mitigar alguns dos problemas e dificuldades presentes no processo. Por exemplo facilitar a etapa de projeto e monitoramento de parâmetros, como identificação de vazamentos em tubulações, detecção de formação de compostos tóxicos na etapa de tratamento, projeto e controle de reservatórios e controle de qualidade de água em mananciais.

A indústria 4.0 já é utilizada em diversos setores e, como foi apresentado neste estudo, o setor de água possui um grande potencial para maior implantação de conceitos relacionadas a ela. Apesar das dificuldades relacionadas com o amplo uso de tecnologias da indústria 4.0 no Brasil, essas tecnologias podem auxiliar no combate a problemas intrínsecos ao abastecimento de água e tornar o processo mais eficiente, evitando perdas e reduzindo custos.

6 REFERÊNCIAS

ABCON – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONCESSÕES PRIVADAS DE SERVIÇOS PÚBLICOS DE ÁGUA E SANEAMENTO; SINDICON – SINDICATO NACIONAL DAS CONCESSIONÁRIAS PRIVADAS DE SERVIÇOS PÚBLICOS DE ÁGUA E ESGOTO. **Panorama da participação privada no saneamento 2022**. [s.l.]: Abcon/Sindicon, 2020.

ADAMALA, Sirisha. **An overview of big data applications in water resources engineering**. Machine Learning Research, v. 2, n. 1, p. 10-18, 2017.

ALMANÇA, Fernanda; **Perdas de água no Brasil: qual o cenário atual e quais medidas podem ser tomadas pelos gestores públicos municipais para promover uma maior sustentabilidade na oferta do recurso?:** novembro. 2020. Disponível em <<https://www.gove.digital/outras-tematicas/perdas-de-agua/>>. Acesso em 22 de ago. de 2022.

BATISTA, Mônica; **Manual do Saneamento Básico: Entendendo o saneamento básico ambiental no Brasil e sua importância socioeconômica**. Brasil: Instituto Trata Brasil, 2012.

BENSON, James et al. **Microorganisms collected from the surface of freshwater lakes using a drone water sampling system (DOWSE)**. 2019

BRASIL. Agência Nacional das Águas. **Panorama da Qualidade das Águas Superficiais no Brasil**. Brasília: TODA, 2005.

BRASIL. Conselho das Cidades. **Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB)**. 2014.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde (FUNASA). **Abastecimento de Água Potável**. Brasil: Grafitto, 2016.

BRASIL. **Lei nº. 11.445, de 05 de janeiro de 2007**. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Disponível em: <http://dspace.mj.gov.br/handle/1/1707>

BRASIL. Ministério da Saúde (MS). Secretaria de Vigilância em Saúde. **Manual de orientação para cadastramento das diversas formas de abastecimento de água para consumo humano (Série A. Normas e Manuais Técnicos)**. Brasília: MS; 2007.

Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria Executiva. **Programa Saneamento Básico**. Brasília: Editora MS, 2002.

BRASIL. Secretaria Nacional de Saneamento. Ministério do Desenvolvimento Regional. **Panorama Nacional do Saneamento**. Brasília: SNS, 2021.

COELHO, Márcia Lara Pinto; BAPTISTA, Márcio Benedito; **Adução**. In HELLER, Léo; DE PÁDUA, Valter Lúcio (org). Abastecimento de água para consumo humano. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010, vol. 2.

COELHO, Márcia Lara Pinto; **Estações elevatórias**. In HELLER, Léo; DE PÁDUA, Valter Lúcio (org). Abastecimento de água para consumo humano. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010, vol. 2.

COELHO, Márcia Lara Pinto; LIBÂNO, Marcelo; **Reservação**. In HELLER, Léo; DE PÁDUA, Valter Lúcio (org). Abastecimento de água para consumo humano. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010, vol. 2.

COSTA, Adriana Guimarães. **Sistemas de abastecimento de água**. 2015.

DA SILVA PAGANINI, Wanderley; BOCCHIGLIERI, Miriam Moreira. **O Novo Marco Legal do Saneamento: universalização e saúde pública**. Revista USP, n. 128, p. 45-60, 2021.

DE AZEVEDO, Hamilton Pires de; DA SILVA, José William Gomes. **Manual Operacional de Drones. Brasil**: Controladoria-Geral da União (CGU), 2019.

DE AZEVEDO, Marcelo Teixeira. **Transformação digital na indústria: indústria 4.0 e a rede de água inteligente no Brasil**. 2017. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

DE PADUA, Valter Lúcio; **Introdução ao tratamento de água**. In HELLER, Léo; DE PÁDUA, Valter Lúcio (org). Abastecimento de água para consumo humano. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010, vol. 2.

DE SENZI ZANCUL, Juliana et al. **Direitos Humanos à Água e ao Saneamento e a Política de Saneamento Básico no Brasil**. Cadernos Ibero-Americanos de Direito Sanitário, v. 4, n. 2, p. 23-46, 2015.

DO AMARAL, Pauline Aparecida Pera et al. **Utilização da flotação por ar dissolvido associada a microfiltração para remoção de cianobactérias em águas de abastecimento**. 2011.

DOORN, Neelke. **Artificial intelligence in the water domain: Opportunities for responsible use**. Science of the Total Environment, 2021.

DOS SANTOS, Gesmar Rosa; KUWAJIMA, Julio Issao; DE SANTANA, Adrielli

Santos. **Regulação e investimento no setor de saneamento no Brasil: trajetórias, desafios e incertezas**. Texto para Discussão, 2020.

FUNASA. "**Cada real gasto em saneamento economiza nove em saúde**", disse ministro da Saúde, Brasília, novembro. 2017. Disponível em <http://www.funasa.gov.br/todas-as-noticias/-/asset_publisher/lpnzx3bJYv7G/content/-cada-real-gasto-em-saneamento-economiza-nove-em-saude-disse-ministro-da-saude?inheritRedirect=false>. Acesso em abril de 2022.

GOMES, D. dos S. **Inteligência Artificial: conceitos e aplicações**. Olhar Científico. v1, n. 2, p. 234-246, 2010.

GONÇALVES, Rosiberto; SOARES, Jesse JM; LIMA, Ricardo MF. **An IoT-based framework for smart water supply systems management**. Future Internet, 2020.

GUIMARÃES, A. J. A.; CARVALHO, D. F. de; SILVA, L. D. B. da. **Captação**. Disponível em:<<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/Apostila%20IT%20179/Capit%204%20parte%202.pdf>>. Acesso em: 26 de junho de 2022.

GUIMARÃES, A. J. A.; CARVALHO, D. F. de; SILVA, L. D. B. da. **Reservatórios**. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/Apostila%20IT%20179/Cap%204%20parte%203.pdf>>. Acesso em: 26 de junho de 2022.

HELLER, Léo; Abastecimento de água, sociedade e ambiente. In HELLER, Léo; DE PÁDUA, Valter Lúcio (org). **Abastecimento de água para consumo humano**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010, vol. 1.

ISA, Haruki; NEVES, Namir Antonio; TCE/SP. **O Novo Marco Legal do Saneamento Básico**. 2021.

JÚNIOR, Aristeu de Oliveira et al. **Manual de fluoretação da água para consumo humano**: Fundação Nacional de Saúde. 2012.

KAPLAN, Andreas; HAENLEIN, Michael. **Siri, Siri, in my hand: Who's the fairest in the land? On the interpretations, illustrations, and implications of artificial intelligence**. Business Horizons, v. 62, n. 1, p. 15-25, 2019.

MASSA, Kaio Henrique Correa; CHIAVEGATTO FILHO, Alexandre Dias Porto. **Saneamento básico e saúde autoavaliada nas capitais brasileiras: uma análise multinível**. Revista Brasileira de Epidemiologia, v. 23, 2020.

NAGHETTINI, Mauro; **Mananciais superficiais: aspectos quantitativos**. In HELLER, Léo; DE PÁDUA, Valter Lúcio (org). Abastecimento de água para consumo humano. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010, vol. 1.

NICOLAE, Andrei; KORODI, Adrian; SILEA, Ioan. **Identifying data dependencies as first step to obtain a proactive historian: Test scenario in the water Industry 4.0**. Water, 2019.

NICOLI, EDUARDO PIASSI; GILSON, ANDERSON JUSTINO. **Análise experimental de curvas de bombas centrifugas radiais**, Vitória, 2004.

OLSEN, Tava Lennon; TOMLIN, Brian. **Industry 4.0: Opportunities and challenges for operations management**. Manufacturing & Service Operations Management, v. 22, n. 1, p. 113-122, 2020.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, **Water, sanitation, hygiene, and health: a primer for health professionals**. Suíça: OMS, 2019.

PALMIER, Luiz Rafael; **Mananciais subterrâneos: aspectos quantitativos**. In HELLER, Léo; DE PÁDUA, Valter Lúcio (org). Abastecimento de água para consumo humano. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010, vol. 1

POLJAK, DAVOR; **Industry 4.0 – New challenges for public water supply organizations**. In STEFANIC, Nedeljko; CAJNER, Hrvoje. Lean Spring Summit 2018: Conference Proceedings. Zagreb: Universidade de Zagreb, 2018.

PRINCE, Aloísio de Araújo; **Captação de água de superfície**. In HELLER, Léo; DE PÁDUA, Valter Lúcio (org). Abastecimento de água para consumo humano. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010, vol. 1.

PRINCE, Aloísio de Araújo; **Rede de distribuição**. In HELLER, Léo; DE PÁDUA, Valter Lúcio (org). Abastecimento de água para consumo humano. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010, vol. 2.

RIBEIRO, Douglas Arthur Coutinho. **Tecnologias advindas da Indústria 4.0 aplicada na construção civil: efeitos e desafios da implantação no Brasil**. 2019.

RICHTER, Carlos A.; NETTO, José Martiniano de Azevedo. **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. Editora Blucher, 1991, ed. 13.

ROCHA, Aristides Almeida. **Histórias do saneamento**. Editora Blucher, 2016.

ROLLEMBERG, Silvio; MAGALHÃES, João. **TÉCNICAS SIMPLIFICADAS DE TRATAMENTO DE ÁGUA**. Revista Virtual de Química, v. 12, n. 2, 2020.

- ROSE, Karen; ELDRIDGE, Scott; CHAPIN, Lyman. **The internet of things: An overview**. The internet society (ISOC), v. 80, p. 1-50, 2015.
- SANTOS, Sérgio Lopes dos. **Bombas & instalações hidráulicas**. São Paulo: LCTE, 2007.
- SCHORR, Adriano de Souza. **Tratamento de águas e efluentes**. Freitas Bastos, 2022.
- SEBRAE, **Indústria 4.0: a moda a caminho do futuro**. (E-Book). 2018.
- SILVA, Enid Rocha Andrade da Coordenadora. **Agenda 2030: ODS-Metas nacionais dos objetivos de desenvolvimento sustentável**. 2018.
- STANKOVIC, Mirjana et al. **Uso de tecnologias da 4RI em água e saneamento na América Latina e no Caribe**. 2020.
- THENMOZHI, S. et al. **IoT Based Smart Water Leak Detection System for a Sustainable Future**. In: 2021 Sixth International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET). IEEE, 2021.
- TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Abastecimento de água**. . São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2002.
- WASHINGTON, A. Nicki. **A survey of drone use for socially relevant problems: Lessons from Africa**. African Journal Of Computing & ICT, v. 11, n. 3, p. 1-11, 2018.
- WONG, Yong Jie et al. **Toward industrial revolution 4.0: Development, validation, and application of 3D-printed IoT-based water quality monitoring system**. Journal of Cleaner Production, 2021.