

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
MESTRADO PROFISSIONAL**

**AValiação DA QUALIDADE DO ESGOTO TRATADO E SEUS IMPACTOS NO
CURSO HÍDRICO: O CASO DA ETE NORTE DO MUNICÍPIO DE PRESIDENTE
VENCESLAU – SÃO PAULO – BRASIL**

Discente

Juliana Corrêa Bertocco

Orientador

Prof. Dr. Paulo Augusto Romera e Silva

Co-orientadora

Profa. Dra. Maria Cristina Rizk

Presidente Prudente – SP

2019

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
MESTRADO PROFISSIONAL**

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO ESGOTO TRATADO E SEUS IMPACTOS NO
CURSO HÍDRICO: O CASO DA ETE NORTE DO MUNICÍPIO DE PRESIDENTE
VENCESLAU – SÃO PAULO – BRASIL**

Discente

Juliana Corrêa Bertocco

Orientador

Prof. Dr. Paulo Augusto Romera e Silva

Co-orientadora

Profa. Dra. Maria Cristina Rizk

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia – Mestrado Profissional, da Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNESP, campus de Presidente Prudente, como requisito para obtenção do título de Mestre em Geografia.

Presidente Prudente – SP

2019

B545a Bertocco, Juliana Corrêa
Avaliação da qualidade do esgoto tratado e seus impactos no curso hídrico: O caso da Ete Norte do município de Presidente Venceslau - São Paulo - Brasil. / Juliana Corrêa Bertocco. -- Presidente Prudente, 2019
79 f. : il., tabs., fotos, mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente
Orientadora: Paulo Augusto Romera e Silva
Coorientadora: Maria Cristina Rizk

1. Esgoto (águas residuais). I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Presidente Prudente

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

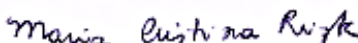
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO ESGOTO TRATADO E SEUS IMPACTOS NO CURSO HÍDRICO: O CASO DA ETE NORTE DO MUNICÍPIO DE PRESIDENTE VENCESLAU - SÃO PAULO - BRASIL

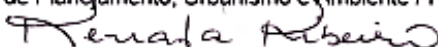
AUTORA: JULIANA CORREA BERTOCCO

ORIENTADOR: PAULO AUGUSTO ROMERA E SILVA

COORIENTADORA: MARIA CRISTINA RIZK

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em GEOGRAFIA, área: Produção do Espaço Geográfico pela Comissão Examinadora:


Profa. Dra. MARIA CRISTINA RIZK
Departamento de Planejamento, Urbanismo e Ambiente / FCT/UNESP - Presidente Prudente


Profa. Dra. RENATA RIBEIRO DE ARAÚJO
Departamento de Planejamento, Urbanismo e Ambiente / FCT/UNESP - Presidente Prudente


Profa. Dra. LEONICE SEOLIN DIAS
Editora ANAP

Presidente Prudente, 01 de outubro de 2019

Dedico essa obra às minhas filhas, Catarina e Victoria, e que essa contribua para que quando elas estiverem na idade adulta, todo município do nosso país possua tratamento de esgoto.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à colaboração deste trabalho ao Professor e Doutor Paulo Augusto Romera e Silva (*in memoriam*) que contribuiu muito com seu conhecimento e ideias propostas para o desenvolvimento dessa obra, com a sugestão do tema e encorajamento no desenvolvimento do trabalho, sendo o primeiro a acreditar que era possível uma visita à uma estação de tratamento de esgoto americana, para que pudéssemos fazer uma comparação das duas tecnologias, com isso redigiu uma carta de apresentação à gerência da estação de tratamento de esgoto (ETE) *Sugar Creek*, na cidade de Charlotte, estado da Carolina do Norte, na qual fui recebida por duas vezes, com respeito e muito carinho pelos funcionários e a qual foi uma experiência única pra mim. Foi uma honra ter participado de um de seus últimos projetos antes de sua partida para o mundo espiritual.

Ainda, em terra estrangeira, agradeço aos queridos Reginaldo Wanderson Firmino por ir até a ETE *Sugar Creek* e consultar à gerência da ETE se poderia receber uma estudante de mestrado brasileira para uma visita técnica e ao e Bernard Wanderson Teixeira Firmino por ter me acompanhado na primeira visita e ter sido meu intérprete e fotógrafo nas atividades desenvolvidas, as quais contribuíram muito para o enriquecimento do trabalho.

Gratidão pela colaboração e orientação da Professora e Doutora Maria Cristina Rizk que aceitou o convite para participar desse projeto como uma parceira e Co-orientadora; após a descoberta da doença do Professor Paulo assumiu a co-orientação do trabalho com muito zelo e paciência, e esteve sempre disposta a discutir ideias, sugerir ajustes até que o trabalho ficasse de acordo com as normas técnicas e pronto para ser publicado.

Agradecimentos à Professora Doutora Renata Ribeiro de Araújo que foi quem me incentivou a não desistir do mestrado; depois de não ter sido aprovada pela primeira vez, me abateu um certo desânimo, e as palavras dela foram a motivação que eu precisava para ingressar no Mestrado Profissional, primeiramente como aluna especial, sem passar pela pré-seleção e cursando algumas disciplinas que seriam creditadas quando estivesse matriculada de fato e depois como aluna regular com o projeto proposto aprovado, o qual é o tema dessa dissertação.

Por fim agradeço ao órgão público no qual trabalho, o DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica, órgão gestor dos recursos hídricos do estado de São Paulo e ao Comitê da Bacia Hidrográfica do Pontal do Paranapanema (CBH-PP), no qual faço parte como membro da Câmara Técnica de Planejamento.

Agradecimento especial ao Sr. Engenheiro Civil José Alberto de Barros Fial, diretor do DAEE, na Unidade da Bacia Hidrográfica do Pontal do Paranapanema, situado na cidade de Presidente Prudente, que foi quem sempre incentivou o estudo na estação de tratamento de esgoto de Presidente Venceslau, da bacia norte, ETE NORTE, local no qual fomos os coordenadores fiscais da obra. Agradeço o incentivo e apoio por me liberar às sextas-feiras do trabalho, para que eu pudesse assistir as aulas do curso e me dedicar ao trabalho de pesquisa.

E agradecimentos aos órgãos da CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo e Prefeitura Municipal de Presidente Venceslau, que me forneceram os laudos de análises de água que usei para discussão e conclusão do trabalho.

“Antes do lançamento dos dejetos, o ecossistema do curso d’água se encontra geralmente em equilíbrio e após a entrada da fonte poluidora as comunidades são afetadas em alto grau, resultando em uma desorganização inicial, seguida à uma tendência posterior a reorganização” (Von Sperling, 2005, p. 137).

RESUMO

Os serviços prestados por empresas de saneamento básico, como o tratamento de esgoto, são necessários para o desenvolvimento de uma comunidade saudável e um meio ambiente em equilíbrio. O presente estudo avaliou a qualidade do esgoto tratado na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da Bacia Norte do município de Presidente Venceslau, estado de São Paulo e seus impactos no córrego do Veado. Assim, neste estudo fez-se uma análise da eficiência da ETE em questão, bem como do esgoto bruto e tratado e da água do córrego à montante e à jusante da ETE. Além disso, avaliou-se a autodepuração num trecho do córrego analisado após o lançamento do esgoto tratado até o rio principal. Para a determinação da capacidade de autodepuração do trecho analisado do córrego onde ocorre o lançamento do esgoto tratado pela ETE Norte de Presidente Venceslau, foi adotada a modelagem matemática de Streeter e Phelps. O presente trabalho constatou que a tecnologia da ETE Norte de Presidente Venceslau é de boa qualidade, apresentando uma eficiência de remoção de DBO de 84% e um perfil de autodepuração com oxigênio dissolvido com 7 mg/l à 1,2 km da ETE.

Palavras-chave: esgoto doméstico, córrego do Veado, autodepuração, estação de tratamento de esgoto.

ABSTRACT

Services provided by sanitation companies, such as sewage treatment, are necessary for the development of a healthy community and a balanced environment. This study evaluated the quality of sewage treated at the North Basin Sewage Treatment Station in Presidente Venceslau municipality, state of São Paulo and its impacts on the Veado stream. Thus, in this study an analysis was made of the efficiency of the Sewage Treatment Station in question, as well as of raw and treated sewage and stream water upstream and downstream of the Sewage Treatment Station. In addition, self-purification was evaluated. To determine the self-purification capacity of the analyzed section of the stream where the sewage treated by Presidente Venceslau North Sewage Treatment Station occurs, the mathematical modeling of Streeter and Phelps was adopted. The present study obtained that Presidente Venceslau North Sewage Treatment Station technology is of good quality, with an 84% BOD removal efficiency and a 7 mg/l dissolved oxygen self-purification profile at 1.2 km from the Sewage Treatment Station.

Keywords: domestic sewage, Veado stream, self-purification, sewage treatment station.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS	18
2.1 OBJETIVO GERAL.....	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1 GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS	19
3.2 SANEAMENTO BÁSICO	24
3.3 ESGOTO DOMÉSTICO.....	30
3.4 PROGRAMA ÁGUA LIMPA DO ESTADO DE SÃO PAULO.....	31
3.5 AUTODEPURAÇÃO DOS CORPOS D'ÁGUA	34
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	37
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO ESTUDADO.....	37
4.2 AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DO ESGOTO TRATADO	37
4.3 ANÁLISE DO PERFIL DE AUTODEPURAÇÃO DE UM TRECHO DO CÓRREGO DO VEADO ..	39
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	45
5.1.1 O tratamento de esgoto doméstico na ETE Norte de Presidente Venceslau	47
5.1.2 O tratamento de esgoto doméstico na ETE <i>Sugar Creek</i> e comparativo entre as ETEs.....	51
5.2 AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DO ESGOTO TRATADO	56
5.3 ANÁLISE DO PERFIL DE AUTODEPURAÇÃO DE UM TRECHO DO CÓRREGO DO VEADO..	66
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	73
7 REFERÊNCIAS.....	74

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1 – Análises de monitoramento da ETE Norte de Presidente Venceslau.	39
Tabela 1 – Cs de oxigênio (mg/L) em função da temperatura e altitude.	41
Tabela 2 – Valores genéricos do coeficiente K1 (base e, 20° C).....	42
Tabela 3 – Valores típicos de K2 (base e, 20o C).	43
Tabela 4 – Parâmetros de projeto da ETE Norte.	47
Tabela 5 – Parâmetros analisados na ETE de Presidente Venceslau em 2015.	57
Tabela 6 – Eficiência calculada para a ETE de Presidente Venceslau em 2015.	58
Tabela 7 – Parâmetros analisados na ETE de Presidente Venceslau em 2018.	59
Tabela 8 – Eficiência calculada para a ETE de Presidente Venceslau em 2018.	59
Tabela 9 – Esgoto bruto na entrada da ETE de 2015 a 2018.	60
Tabela 10 – Esgoto tratado na saída da ETE de 2015 a 2018.	63
Tabela 11 – Água coletada no córrego à montante do lançamento de esgoto tratado de 2015 a 2018.	64
Tabela 12 – Água coletada no córrego à jusante do lançamento de esgoto tratado de 2015 a 2018.....	65
Tabela 13 – Dados de coordenadas, área de contribuição hidrográfica da bacia e meridiano central.	66
Tabela 14 – Dados que resultaram na precipitação anual média em (mm) e a vazão de cheia do córrego em (m ³ /s).	66
Tabela 15 – Valores de vazão, DBO e OD do córrego e do esgoto tratado.	68
Tabela 16 – Valores de DBO e OD da mistura córrego/esgoto tratado.	69
Tabela 17 – Valores utilizados para o cálculo de autodepuração.	69
Tabela 18 – Valores calculados para as variáveis que determinaram a autodepuração.....	70
Tabela 19 – Resultados de concentração de oxigênio dissolvido em função do tempo e da distância.	71

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Classes de enquadramento e respectivos usos e qualidade da água.....	22
Figura 2 – Trajetória dos principais parâmetros ao longo do curso d'água em função das zonas de decomposição.....	35
Figura 3 – Croqui de Implantação da ETE Norte de Presidente Venceslau.	38
Figura 4 – Vista geral da ETE Norte de Presidente Venceslau – SP.....	45
Figura 5 – Vista aérea da ETE Norte de Presidente Venceslau – SP.	46
Figura 6 – Vista aérea da ETE Norte de Presidente Venceslau – SP com destaque para os córregos do entorno.....	46
Figura 7 – Tanque de aeração antes do enchimento (destaque grelhas de injeção de oxigênio).....	48
Figura 8 – Tanque de aeração após enchimento (injeção de oxigênio).	48
Figura 9 – Decantador secundário e tanque digestor de lodo (inox).	49
Figura 10 – Tanque de contato com adição de cloro.	49
Figura 11 – Centrífuga para secagem de lodo.	50
Figura 12 – Caçamba, centrífuga e decanter e caçamba para deposição de lodo seco.	51
Figura 13 – Mapa dos Estados Unidos, para destaque para a cidade de Charlotte, no estado da Carolina do Norte.....	52
Figura 14 – Vista aérea da ETE <i>Sugar Creek</i>	52
Figura 15 – Chegada do esgoto na calha parshal da ETE <i>Sugar Creek</i>	53
Figura 16 – Tanque de aeração da ETE <i>Sugar Creek</i>	53
Figura 17 – Tanque de decantação secundária da ETE <i>Sugar Creek</i>	53
Figura 18 – Tanque de filtração com carvão antracite da ETE <i>Sugar Creek</i>	54
Figura 19 – Tanque de desinfecção e radiação ultravioleta da ETE <i>Sugar Creek</i>	54
Figura 20 – Lançamento do esgoto tratado no Riacho <i>Sugar Creek</i>	54
Figura 21 – Curva da vazão de permanência.....	67
Figura 22 – Concentração de oxigênio dissolvido em função do tempo.	72

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- CBH – Comitê de Bacia Hidrográfica
- CBH-PP – Comitê da Bacia Hidrográfica do Pontal do Paranapanema
- CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
- CORHI – Comitê Coordenador do Plano Estadual de Recursos Hídricos
- CRH – Conselho Estadual de Recursos Hídricos
- CRHi– Coordenadoria de Recursos Hídricos
- CT-PLAN - Câmara Técnica de Planejamento
- DAE – Departamento de Água e Esgoto
- DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica
- DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
- DQO – Demanda Química de Oxigênio
- ETE – Estação de Tratamento de Esgoto Doméstico
- FEHIDRO – Fundo Estadual de Recursos Hídricos
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- OD – Oxigênio Dissolvido
- ODM – Objetivos do Desenvolvimento do Milênio
- OMS – Organização Mundial da Saúde
- PERH – Plano Estadual de Recursos Hídricos
- PBH – Plano de Bacia Hidrográfica
- pH – Potencial Hidrogeniônico
- PIRH – Plano Integrado de Recursos Hídricos
- PLANSAB – Plano Nacional de Saneamento Básico
- PPA – Plano Plurianual
- SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
- SIGRH – Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo
- UGRHI – Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos

1 INTRODUÇÃO

A realidade com a qual nos deparamos hoje, considerando a questão hídrica e de degradação ambiental, em muito difere da prevista pela Constituição da República Federativa do Brasil de 1988, que em seu art. 225, do Capítulo VI, determina que “todo cidadão tem direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado”.

Frequentemente ocorrem situações conflitantes ao mau uso dos recursos naturais e às intervenções na natureza, as quais se buscam sempre justificar em nome do progresso e do desenvolvimento.

Temos acompanhado diversos acontecimentos resultantes não só de eventos climáticos, mas também da maneira irracional e devastadora com que a humanidade tem explorado os recursos que a natureza nos oferece, sem considerar as gravíssimas consequências em que tais ações resultarão, inclusive na qualidade das águas.

É nesse contexto que a temática da gestão das águas surge como tema principal. Sua abordagem faz-se oportuna, pois se trata de um bem indispensável à manutenção da vida.

O Planejamento e Gestão Ambiental do estado de São Paulo ganhou destaque com a promulgação da Lei Estadual do Estado de São Paulo nº. 7.663, de 30 de dezembro de 1991, que instituiu a Política Estadual de Recursos Hídricos, ficando estabelecida normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos, bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SIGRH) (SÃO PAULO, 1991).

Na gestão dos recursos hídricos, o Planejamento e Gestão Ambiental é uma valiosa ferramenta de trabalho que proporciona a possibilidade de monitoramento dos danos causados pelo homem e de análise da melhora da qualidade dos recursos hídricos e do ambiente. De acordo com Von Sperling (2005, p. 137) “antes do lançamento dos dejetos, o ecossistema do curso d’água se encontra geralmente em equilíbrio e após a entrada da fonte poluidora as comunidades são afetadas em alto grau, resultando em uma desorganização inicial, seguida à uma tendência posterior a reorganização”.

O município de estudo, Presidente Venceslau, localizado no Estado de São Paulo a 21°52’34” de latitude sul e a 51°50’38” de longitude oeste, a uma altitude de 422 metros, ocupa uma área aproximada de 755.203,00 km² e sua população estimada no ano de 2010 foi de 37.910 habitantes (IBGE, 2010). Segundo informações contidas no Plano de Bacia Hidrográfica (PBH) do Comitê da Bacia Hidrográfica do Pontal do Paranapanema (CBH-PP) do ano de 2016, o município estava em último lugar no atendimento ao saneamento básico dos municípios da bacia hidrográfica do Pontal do Paranapanema por ser o único da bacia

hidrográfica que não possuía sistema de afastamento e tratamento de esgoto, lançando esgoto *in natura* no córrego da Mangueira, bacia norte e no córrego da Fortuna, bacia sul,

O município de Presidente Venceslau foi pioneiro no tratamento de esgoto doméstico da região do Pontal do Paranapanema na década de 1970, mais precisamente entre os anos de 1977 e 1978, na administração do Prefeito Inocêncio Erbel. A cidade possuía um conjunto de duas lagoas de tratamento e um aerador, no antigo bairro Vila Luiza, conforme informações do Departamento de Obras da Prefeitura Municipal. Devido à falta de verbas e pouca manutenção, o município veio a perder a pequena estação de tratamento de esgoto e voltou a lançar seus esgotos *in natura* nos Córregos da Mangueira e da Fortuna.

O município, antes pioneiro no tratamento de esgoto na região do Pontal do Paranapanema, agora se tornava o último a ser contemplado com um sistema eficaz no tratamento dos seus esgotos domésticos.

Por volta do ano de 2012, os Comitês das Bacias Hidrográficas do Pontal do Paranapanema e do Peixe se uniram para buscar solução para o problema da falta de tratamento de esgotos no município de Presidente Venceslau.

Foi então no ano de 2012 que os Comitês de Bacias Hidrográficas do Pontal do Paranapanema e do Peixe, juntamente com o Programa Água Limpa e a Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos, buscaram recursos para a elaboração de projeto de afastamento e tratamento de esgoto do município de Presidente Venceslau.

Com a Estação de Tratamento de Esgoto Doméstico (ETE) Norte em operação, o lançamento do esgoto doméstico tratado passou a ser feito no córrego do Veado.

Nesse sentido, esta pesquisa buscou avaliar a qualidade das águas do Córrego do Veado, localizado na Bacia Hidrográfica do Pontal do Paranapanema, após o despejo do esgoto doméstico tratado pela Estação de Tratamento de Esgoto Doméstico Norte do município de Presidente Venceslau. No trecho analisado, o corpo d'água está classificado como classe 2, segundo o Decreto Estadual do Estado de São Paulo nº. 10.755/1977.

Para a avaliação da qualidade da água tratada dentre os importantes parâmetros de avaliação da qualidade dos esgotos lançados nos corpos d'água destacam-se: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), oxigênio dissolvido (OD), nitrogênio, fósforo e surfactantes.

Além da avaliação dos parâmetros mencionados acima é importante a preocupação de se realizar um estudo de autodepuração, com o objetivo de avaliar se o corpo d'água pode suportar a carga orgânica recebida. Isso é de fundamental importância para perceber quais as consequências da introdução do efluente tratado nas águas desse corpo hídrico, ao longo do

tempo e do espaço, o que também pode prejudicar outros corpos d'água nos quais ele tem influência (CORRÊA; ARAÚJO, 2015).

O tratamento adequado do esgoto pode ser considerado um pré-requisito para a busca da sustentabilidade, seja na obtenção de efluentes que atendam aos padrões de lançamento do corpo receptor, seja para a sua utilização produtiva. Representa uma alternativa na solução dos problemas de poluição da água e de escassez de recursos hídricos ao contribuir para a proteção ambiental, para a geração de alimentos e de outros produtos, sendo também de fundamental importância para a melhoria do quadro de saúde da população (MIRANDA; DATOLLI; LIMA, 2010).

Com isso torna-se de fundamental importância avaliar a qualidade do efluente tratado nas águas desse corpo hídrico, bem como estabelecer as regras de operação que garantam a continuidade dos benefícios projetados para a ETE. E mais, deve-se buscar que a eficiência dessa ETE seja garantida ao longo do tempo de tal modo que os benefícios possam ser avaliados no contexto da sustentabilidade dos recursos hídricos.

Assim, o trabalho contempla além do capítulo de introdução, o segundo capítulo com os objetivos da pesquisa; o terceiro capítulo traz o referencial teórico levantado sobre o tema; o quarto capítulo aborda a descrição da metodologia usada para a coleta de informações, como visitas técnicas e trabalhos de gabinete para entendimento do tratamento de esgotos adotado. No quinto capítulo são apresentados os resultados e discussões referentes à caracterização da ETE Norte do município de Presidente Venceslau – SP, no qual foram apresentados os detalhes do projeto e da operação da ETE, relativos ao acompanhamento das atividades realizadas no local, entre outros. E por fim, o sexto e o sétimo capítulos discorrem, respectivamente, sobre a análise dos resultados atingidos e as considerações finais do estudo.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho teve como objetivo geral avaliar o sistema de tratamento de esgoto doméstico empregado na Estação de Tratamento de Esgotos Domésticos – ETE Norte, do município de Presidente Venceslau, São Paulo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos da pesquisa foram:

- Acompanhar e detalhar o tratamento do esgoto doméstico na ETE estudada, realizando a caracterização da ETE;
- Avaliar a qualidade do esgoto doméstico tratado, bem como a eficiência do tratamento na ETE, por meio de parâmetros físico-químicos;
- Estabelecer o perfil de autodepuração de um trecho do Córrego do Veado, no município de Presidente Venceslau/SP, como instrumento de avaliação da situação posterior ao início da operação da ETE.
- Comparar a ETE Norte de Presidente Venceslau com a ETE *Sugar Creek* situada na cidade de Charlotte, estado da Carolina do Norte, nos Estados Unidos, visitada no período do curso de mestrado.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

A gestão de recursos hídricos baseada no recorte territorial das bacias hidrográficas ganhou força no início de 1990, quando os Princípios de Dublin foram acordados na reunião preparatória à Rio-92. Diz o Princípio n. 1 que a gestão dos recursos hídricos, para ser efetiva, deve ser integrada e considerar todos os aspectos, físicos, sociais e econômicos. Para que essa integração tenha o foco adequado, sugere-se que a gestão esteja baseada nas bacias hidrográficas (WMO, 1992).

A questão central que deve reger a gestão é a integração dos vários aspectos que interferem no uso dos recursos hídricos e na sua proteção ambiental. A bacia hidrográfica permite essa abordagem integrada, e, como citam Yassuda e Nogami (1993) “a bacia hidrográfica é o palco unitário de interação das águas com o meio físico, o meio biótico e o meio social, econômico e cultural”.

Em realidade, bem antes de ter ocorrido esse reconhecimento de princípios amplamente aceitos, várias iniciativas de sucesso na área de gestão de recursos hídricos foram baseadas no recorte geográfico da bacia hidrográfica.

Há experiências registradas sobre tratados de utilização do Rio Danúbio que datam de 1616, o tratado Brasil-Peru sobre a navegação do Rio Amazonas em 1851 e o tratado entre o Brasil e a República das Províncias Unidas do Rio da Prata em 1928, entre outros (GRANZIERA, 2001).

Uma importante experiência na gestão de bacias hidrográficas foi a aprovação, em 1922, pelo Congresso dos Estados Unidos, do pacto do Rio Colorado, o qual decidiu sobre a partição da utilização da água do rio entre os Estados que compartilhavam a sua bacia hidrográfica. Esse pacto utilizou, aliás, um conceito muito interessante e atual, que coloca, sob a égide do mesmo processo decisório; territórios com produtividade hídrica elevada (Estados doadores) e territórios com produtividade hídrica menor (Estados recebedores), e a utilização conjunta das águas de um mesmo rio (GRIGG, 1991).

A Lei nº. 9.433, de 08 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, concretizou então a gestão por bacias hidrográficas. Hoje no Brasil, os recursos hídricos têm sua gestão organizada por bacias hidrográficas em todo o território nacional, seja em corpos hídricos de titularidade da União ou dos Estados. Há certamente dificuldades em se lidar com esse recorte geográfico, uma vez que os recursos hídricos exigem a gestão

compartilhada com a administração pública, órgãos de saneamento, instituições ligadas à atividade agrícola, gestão ambiental, entre outros, e a cada um desses setores corresponde uma divisão administrativa certamente distinta da bacia hidrográfica (BRASIL, 1997).

A Lei Federal nº. 9.433 de 1997 tem seus fundamentos estabelecidos em seu art. 1º, abaixo transcritos:

- I - a água é um bem de domínio público;
- II - a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico;
- III - em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais;
- IV - a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas;
- V - a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos;
- VI - a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades (BRASIL, 1997).

A Política Nacional de Recursos Hídricos tem como objetivos assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos; a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável; e a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais (BRASIL, 1997).

O Sistema Integrado de Gerenciamento dos Recursos Hídricos é baseado nos princípios de participação, descentralização e integração na gestão sustentável dos recursos Hídricos do Estado de São Paulo, de acordo com a Lei nº. 7.663/1991. A Bacia Hidrográfica é nossa referência de planejamento e gerenciamento, o que fortalece as identidades regionais no estado de São Paulo.

O SIGRH é representado por membros do Estado, dos Municípios e da Sociedade Civil e tem como base o Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH), documento elaborado a cada quatro anos, a partir dos Planos de Bacia específicos de cada um dos 21 Comitês de Bacias Hidrográficas do Estado de São Paulo. O Sistema conta também com o Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO), o qual viabiliza financeiramente projetos ligados aos Recursos Hídricos (REIS, 1999).

Três órgãos fazem a coordenação e integração do SIGRH: o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CRH); os Comitês de Bacias Hidrográficas (CBHs) e o Comitê Coordenador do Plano Estadual de Recursos Hídricos (CORHI). Cabe a esses órgãos

promover o envolvimento dos diferentes segmentos sociais no gerenciamento do PERH (GOMES; BARBIERI, 2004).

Essa forma de administração descentralizada, participativa e integrada visa fortalecer a sustentabilidade ao reconhecer o recurso hídrico como um bem público, cuja gestão deve assegurar padrões de quantidade e qualidade satisfatórios aos cidadãos (ABERS; JORGE, 2005).

Os Instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos estabelecidos no art. 3º da Lei 9.433/1997 são:

- I - os Planos de Recursos Hídricos;
- II - o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água;
- III - a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos;
- IV - a cobrança pelo uso de recursos hídricos;
- V - a compensação a municípios;
- VI - o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos (BRASIL, 1997).

A cobrança pelo uso da água está respaldada no Código Civil, que prevê a remuneração pela utilização dos bens públicos de uso comum; no Código de Águas, ao dispor que o uso comum das águas pode ser gratuito ou retribuído; e na Política Nacional de Meio Ambiente, que adota o princípio do usuário-pagador aplicado aos recursos naturais (SILVA, 2006).

Em rios de domínio do Estado de São Paulo, a cobrança é regida pela Lei nº. 12.183/2005, tendo como princípios a simplicidade, a progressividade e a aceitabilidade.

O enquadramento dos corpos d'água é um dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, responsável pela definição da classe de qualidade da água para seus usos preponderantes. O enquadramento dos corpos hídricos é o estabelecimento da meta ou objetivo de qualidade da água (classe) a ser, obrigatoriamente, alcançado ou mantido em um segmento de corpo de água, de acordo com os usos preponderantes pretendidos, ao longo do tempo (CASARINI, 2007).

A classificação dos corpos hídricos é feita pela qualificação em águas doces, salobras e salinas em função dos usos preponderantes (sistema de classes) atuais e futuros (CASARINI, 2007).

As classes de qualidade são o conjunto de condições e padrões de qualidade de água necessários ao atendimento dos usos preponderantes atuais e futuros (CASARINI, 2007).

A Resolução CONAMA n.º. 357 de 2005 estabelece as classes de qualidade das águas doces superficiais em:

CLASSE ESPECIAL, águas destinadas a(o):

- abastecimento para consumo humano, com desinfecção;
- preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas;
- preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.

CLASSE 1, águas que podem ser destinadas a(o):

- abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;
- proteção das comunidades aquáticas;
- recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho), conforme CONAMA 274/00;
- irrigação de hortaliças consumidas cruas e de frutas (rente ao solo) e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película;
- proteção das comunidades aquáticas em terras Indígenas.

CLASSE 2, águas que podem ser destinadas a(o):

- abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- proteção das comunidades aquáticas;
- à recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho), conforme CONAMA 274/00;
- irrigação de hortaliças e plantas frutíferas, parque e jardins e outros com os quais o público possa vir a ter contato direto;
- aquicultura e à atividade de pesca.

CLASSE 3, águas que podem ser destinadas a(o):

- abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;
- irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;
- pesca amadora;
- recreação de contato secundário;
- dessedentação de animais.

CLASSE 4, águas que podem ser destinadas à:

- navegação;
- harmonia paisagística (BRASIL, 2005).

As classes de enquadramento e respectivos usos e qualidade da água podem ser observadas na Figura 1.

Figura 1 – Classes de enquadramento e respectivos usos e qualidade da água.



Fonte: www.portalnqa.ana.gov.br

No estado de São Paulo, o Decreto Estadual nº 10.755, de 22 de novembro de 1977, “dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água receptores na classificação prevista no Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976, e dá providências correlatas”.

É importante ressaltar que o enquadramento é um processo decisório onde estão em jogo a qualidade da água (que condiciona os usos da água), as cargas poluidoras e os custos para redução da poluição. Quanto melhor a qualidade da água desejada, menores devem ser as cargas poluidoras e maiores serão os custos para tratamento de esgotos.

Os planos de recursos hídricos são instrumentos de gestão que visam orientar a implementação da política de recursos hídricos, definindo as diretrizes para utilização das águas, bem como medidas para sua proteção e conservação, de modo a garantir sua disponibilidade – em quantidade e qualidade adequadas – para os diferentes usos (MESQUITA, 2017).

Os planos de recursos hídricos são instrumentos de planejamento que servem para orientar a sociedade e os tomadores de decisão para a recuperação, proteção e conservação dos recursos hídricos das bacias ou regiões hidrográficas correspondentes. Estes Planos têm horizonte de longo prazo, devendo ser acompanhados por revisões e atualizações periódicas (PORTO; PORTO, 2008).

Os Planos de Bacias Hidrográficas – PBH consolidam as ações de gestão dos recursos hídricos das UGRHI e são complementados, no caso das bacias que incluem rios de domínio da União, pelos Planos Integrados de Recursos Hídricos – PIRH (SILVA, 2018).

De acordo com a Lei nº 7.663/91, que instituiu a Política Estadual de Recursos Hídricos no Estado de São Paulo, o Plano Estadual de Recursos Hídricos deve ser elaborado com base nos planos das bacias hidrográficas, nas normas relativas à proteção do meio ambiente e nas diretrizes do planejamento e gerenciamento ambientais. Neste contexto, o Plano Estadual de Recursos Hídricos estabelece diretrizes e critérios de gerenciamento em escala estadual, refletindo as necessidades regionais expressas nos planos de bacia. O primeiro Plano de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo foi elaborado em 1990 e encontra-se em atualização para o quadriênio 2016-2019.

O Relatório de Situação dos Recursos Hídricos, previsto na Lei nº 7.663/91, é um instrumento de gestão que objetiva monitorar a quantidade e o balanço entre demanda e disponibilidade dos recursos hídricos, e avaliar a eficácia das ações e dos investimentos previstos no Plano de Recursos Hídricos para a recuperação da qualidade e a garantia da oferta de água nas bacias.

No Estado de São Paulo, a Coordenadoria de Recursos Hídricos (CRHi) coordena a elaboração do relatório que compreende as análises referentes à qualidade e ao balanço dos recursos hídricos, compreendendo todas as bacias hidrográficas do território paulista. Também apresenta o acompanhamento das ações do Plano Estadual de Recursos Hídricos. Este relatório é apreciado pelo CORHI e pela CT-PLAN, e submetido à aprovação pelo CRH (MESQUITA, 2017).

A outorga de direito de uso ou interferência de recursos hídricos é um ato administrativo, de autorização ou concessão, mediante o qual o Poder Público faculta ao outorgado fazer uso da água por determinado tempo, finalidade e condição expressa no respectivo ato (GERBER, 2015). Constitui-se num instrumento da Política Estadual de Recursos Hídricos, essencial à compatibilização harmônica entre os anseios da sociedade e as responsabilidades e deveres que devem ser exercidas pelo Poder concedente (GERBER, 2015).

No Estado de São Paulo cabe ao Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) o poder outorgante, por intermédio do Decreto n.º. 41.258, de 31 de outubro de 1996, de acordo com o art. 7º das disposições transitórias da Lei 7.663/91.

Na implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, os Poderes Executivos do Distrito Federal e dos municípios promoverão a integração das políticas locais de saneamento básico, de uso, ocupação e conservação do solo e de meio ambiente com as políticas federal e estaduais de recursos hídricos, conforme o art. 31 da Lei n.º. 9.433 de 1997. Interessante destacar que essa política ainda não foi implementada em todo território nacional.

Com o foco nos chamados Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM), em especial o ODM 7 (Garantir a Sustentabilidade Ambiental), adotados pelos estados membros das Nações Unidas, que enviaram esforços para alcançá-los até 2015, estão a proteção dos recursos naturais e a biodiversidade, acesso à água potável, saneamento básico e melhoria das condições de vida da população urbana.

3.2 SANEAMENTO BÁSICO

A política pública de saneamento no Brasil vem experimentando, desde 2003, um novo ciclo evidenciado pelo marco legal e regulatório, reestruturação institucional e retomada dos investimentos. A reestruturação institucional, com a criação do Ministério das Cidades e da Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, inegavelmente, permitiu maior

direcionamento às ações governamentais. A criação do Conselho Nacional das Cidades e a realização das Conferências das Cidades possibilitaram o diálogo entre os segmentos organizados da sociedade. A Lei nº. 11.445/2007 fechou um longo período de indefinição do marco legal, inaugurando uma nova fase na gestão dos serviços públicos de saneamento básico no País, tendo o planejamento assumido posição central na condução e orientação da ação pública. A retomada dos investimentos no âmbito federal, tanto com recursos não onerosos como onerosos, aponta para novas estratégias do Estado brasileiro para o enfrentamento dos déficits dos serviços (BORJA, 2014).

No entanto, essa trajetória também revela tensões e contradições inerentes a um contexto político-ideológico que mantém vínculos profundos com a estrutura de poder e as relações sociais próprias do modelo de produção capitalista (BORJA, 2011).

Se por um lado houve a configuração de um ambiente propício para a construção de uma agenda política mais voltada para a promoção de justiça social, por outro, a permanência da ação hegemônica de grupos econômicos e políticos na definição da ação estatal revelou as dificuldades de se avançar para um projeto mais democrático, universalista e inclusivo (BORJA, 2014).

No dia 5 de janeiro de 2007, entrou em vigor a Lei Federal nº 11.445, Política Nacional de Saneamento Básico, que assegura que o saneamento básico é um direito de todos, uma vez que diz em seu art. 2º, que os serviços públicos de saneamento básico serão prestados com base nos seguintes princípios fundamentais:

- I - universalização do acesso;
- II - integralidade, compreendida como o conjunto de todas as atividades e componentes de cada um dos diversos serviços de saneamento básico, propiciando à população o acesso na conformidade de suas necessidades e maximizando a eficácia das ações e resultados;
- III - abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos realizados de formas adequadas à saúde pública e à proteção do meio ambiente;
- IV - disponibilidade, em todas as áreas urbanas, de serviços de drenagem e de manejo das águas pluviais adequados à saúde pública e à segurança da vida e do patrimônio público e privado;
- V - adoção de métodos, técnicas e processos que considerem as peculiaridades locais e regionais;
- VI - articulação com as políticas de desenvolvimento urbano e regional, de habitação, de combate à pobreza e de sua erradicação, de proteção ambiental, de promoção da saúde e outras de relevante interesse social voltadas para a melhoria da qualidade de vida, para as quais o saneamento básico seja fator determinante;
- VII - eficiência e sustentabilidade econômica;
- VIII - utilização de tecnologias apropriadas, considerando a capacidade de pagamento dos usuários e a adoção de soluções graduais e progressivas; IX

- transparência das ações, baseada em sistemas de informações e processos decisórios institucionalizados;
- X - controle social;
- XI - segurança, qualidade e regularidade;
- XII - integração das infra-estruturas e serviços com a gestão eficiente dos recursos hídricos (BRASIL, 2007).

Os municípios têm um grande papel para um planejamento de um saneamento básico eficaz, pois têm a responsabilidade de elaborar e aprovar a Política Municipal de Saneamento Básico, cujo conteúdo é definido na Lei; constituir a entidade reguladora e fiscalizadora dos serviços públicos de saneamento básico ou definir a qual entidade existente será delegada essa função e implantar a entidade responsável pelo controle social dos serviços. Conforme o art. 30 da Constituição Federal de 1988, compete aos municípios:

- I - legislar sobre assuntos de interesse local;
- II - suplementar a legislação federal e a estadual no que couber;
- III - instituir e arrecadar os tributos de sua competência, bem como aplicar suas rendas, sem prejuízo da obrigatoriedade de prestar contas e publicar balancetes nos prazos fixados em lei;
- IV - criar, organizar e suprimir distritos, observada a legislação estadual;
- V - organizar e prestar, diretamente ou sob regime de concessão ou permissão, os serviços públicos de interesse local, incluído o de transporte coletivo, que tem caráter essencial;
- VI - manter, com a cooperação técnica e financeira da União e do Estado, programas de educação pré-escolar e de ensino fundamental;
- VI - manter, com a cooperação técnica e financeira da União e do Estado, programas de educação infantil e de ensino fundamental; (Redação dada pela Emenda Constitucional nº 53, de 2006)
- VII - prestar, com a cooperação técnica e financeira da União e do Estado, serviços de atendimento à saúde da população;
- VIII - promover, no que couber, adequado ordenamento territorial, mediante planejamento e controle do uso, do parcelamento e da ocupação do solo urbano;
- IX - promover a proteção do patrimônio (BRASIL, 1988).

No art. 3º da Lei Federal nº 11.445/2007 é definido que o saneamento básico é um conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais e que contempla os seguintes itens:

- Abastecimento de água potável: constituído pelas atividades, infra-estruturas e instalações necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação até as ligações prediais e respectivos instrumentos de medição;
- Esgotamento sanitário: constituído pelas atividades, infra-estruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até o seu lançamento final no meio ambiente;
- Limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos: conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, transbordo,

tratamento e destino final do lixo doméstico e do lixo originário da varrição e limpeza de logradouros e vias públicas;
 - Drenagem e manejo das águas pluviais, limpeza e fiscalização preventiva das respectivas redes urbanas: conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas (BRASIL, 2007).

Com o progresso dos estudos e levantamentos, pesquisas e propagação das ideias apresentadas, o saneamento básico passou a galgar relevância e passou a fazer partes das pautas das discussões políticas. Depois de um longo ciclo de abandono do setor, a Lei nº. 11.445/2007 foi responsável por regular as diretrizes do seguimento. Foram retomados os investimentos, impondo diversas ações a serem adotadas pelos municípios em benefício do aprimoramento da provisão dos serviços de saneamento básico, passando a ser as principais delas a adoção de Agências Reguladoras e/ou a implementação de Planos Municipais de Saneamento. Trata-se do foco do estudo: medir e apreciar, com fundamento em alguns indicadores de produção do fornecimento de água, os proventos que tais disposições concebidas pela Lei nº. 11.445/2007 levaram aos Municípios (QUADROS, 2015).

A Constituição Federal de 1988 estabeleceu que os principais responsáveis pela provisão dos serviços de abastecimento de água potável e saneamento ficariam a cargo dos Municípios. Tal determinação ia contra ao que preconizava o Planasa, que aglomerava o serviço absolutamente a nível federal (FERRO et al., 2014).

O art. 21 do aludido diploma apresenta as competências da União Federal: “XX – Instituir diretrizes para o desenvolvimento urbano, inclusive habitação, saneamento básico e transportes urbanos” (BRASIL, 1988).

Já o inciso X do art. 23 define as competências comuns da União, dos Estados e dos Municípios no sentido de conceder aprimoramentos e melhorias nas condições dos serviços prestados:

(...)

X – Promover programas de construção de moradias e melhoria das condições habitacionais e de saneamento básico (BRASIL, 1988).

O inciso V do art. 30 por sua vez, delinea a competência dos municípios:

(...)

I – Organizar e prestar, diretamente ou sob regime de concessão e permissão os serviços públicos de interesse local, incluído o de transporte coletivo, que tem caráter essencial (BRASIL, 1988).

Percebe-se que a Constituição Federal não intitula de maneira clara um único responsável pelo setor de saneamento básico, possibilitando que haja uma flexibilidade de tal, tendo em vista o princípio de eficiência econômica.

Para a Organização Mundial de Saúde (OMS), o saneamento pode ser entendido como sendo todos os fatores do meio físico do homem que desempenham ou podem desempenhar efeitos prejudiciais sobre o bem-estar físico, mental e social. Trata-se de um conjunto de ações socioeconômicas tomadas para beneficiar a vida e a saúde dos habitantes (GARCIA; FERREIRA, 2017).

O saneamento básico passa a ser essencial para o desenvolvimento sustentável, visto que, seu objetivo é o de assegurar o equilíbrio do bem-estar da sociedade com as questões de preservação do meio ambiente, segunda a Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) (2004).

Conforme a FUNASA (2004, p. 15) o saneamento ambiental:

É o conjunto de ações socioeconômicas que têm por objetivo alcançar Salubridade Ambiental, por meio de abastecimento de água potável, coleta e disposição sanitária de resíduos sólidos, líquidos e gasosos, promoção da disciplina sanitária de uso do solo, drenagem urbana, controle de doenças transmissíveis e demais serviços e obras especializadas, com a finalidade de proteger e melhorar as condições de vida urbana e rural.

A FUNASA (2004, p. 15) dispõe ainda que salubridade ambiental:

É o estado de hígidez em que vive a população urbana e rural, tanto no que se refere a sua capacidade de inibir, prevenir ou impedir a ocorrência de endemias ou epidemias veiculadas pelo meio ambiente, como no tocante ao seu potencial de promover o aperfeiçoamento de condições mesológicas favoráveis ao pleno gozo de saúde e bem-estar.

Em 1946, *World Health Organization* (WHO) definiu a saúde como sendo o estado absoluto de bem-estar físico, mental e social, e não somente a falta de enfermidades e doenças.

No Mundo, mais de um bilhão de pessoas não tem acesso a habitação digna e serviços básicos de saneamento. A falta destes serviços gera em altos riscos para a saúde, além de colaborar para a degradação do meio ambiente (FUNASA, 2004).

Segundo Moraes (2012) o ambiente favorável e salubre, com o enfraquecimento e debilidade sanitária e coleta de rejeitos, consiste numa das mais apropriadas ações preventivas de saúde. Um adequado e eficiente planejamento e investimentos no ramo seria benéfico para a economia a outros diversos segmentos da sociedade e, isto posto, vários recursos, atualmente atrelados ao atendimento de enfermidades infecciosas e parasitárias, poderiam ser aplicados em medidas preventivas.

Conforme o Relatório de Gestão dos Problemas da Poluição no Brasil, os mais importantes aspectos a serem aperfilhados no nosso País são o agravamento da saúde provocado pela precariedade absoluta no fornecimento de água potável, falta de coleta adequada de esgotos, poluição do ar e poluição das águas superficiais em áreas urbanizadas (PHILIPPI e MALHEIROS, 2005).

Segundo o Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB, 2013) o custo para universalizar o acesso aos 4 serviços do saneamento básico (água, esgotos, resíduos e drenagem) é de R\$ 508 bilhões, no período de 2014 a 2033, e para a universalização da água e dos esgotos esse custo será de R\$ 303 bilhões em 20 anos.

Os serviços prestados por empresas de saneamento básico – distribuição de água potável, coleta e tratamento de esgoto, drenagem e limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos – são elementos básicos necessários para o desenvolvimento de uma comunidade saudável e um meio ambiente em equilíbrio.

A ausência dos serviços de saneamento básico é aliada a fatores sócio-econômico-cultural, que são determinantes para o surgimento de infecções conhecidas como enteroparasitoses (doenças prevalentes em crianças e adolescentes residentes em países em desenvolvimento) (BIOLCHINI, 2005, p. 29), com maior susceptibilidade às doenças infectocontagiosas pelo grupo infantil. No Brasil, doenças decorrentes da falta de saneamento figuram entre os principais problemas de saúde pública.

A garantia do acesso universal e de qualidade ao saneamento básico no Brasil ainda é um grande desafio.

Como outros serviços públicos essenciais, os déficits denunciam o atraso do País na garantia de direitos básicos como acesso à água e ao destino seguro dos dejetos e resíduos sólidos.

A exclusão, a desigualdade e a baixa qualidade dos serviços são o produto de um modelo de desenvolvimento vinculado ao modo de produção capitalista e, como tal, promotor de contradições, antagonismo e iniquidades. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2012), no ano de 2010 cerca de 1.915.292 domicílios do País ainda não dispunham de abastecimento de água adequado. Cerca de 1.514.992 domicílios não tinham banheiros nem sanitários e 7.218.079 lançavam seus resíduos sólidos diretamente no ambiente de forma inadequada (BORJA, 2017, p. 434).

No século passado, desde a década de 1950 até o seu final, o investimento em saneamento básico no Brasil ocorreu pontualmente em alguns períodos específicos, com um destaque para as décadas de 1970 e 1980, quando existia um “predomínio da visão de que

avanços nas áreas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário nos países em desenvolvimento resultariam na redução das taxas de mortalidade” (SOARES; BERNARDES; CORDEIRO NETTO, 2002, p. 1715). Nesse período, foi consolidado o Plano Nacional de Saneamento (Planasa), que deu ênfase ao incremento dos índices de atendimento por sistemas de abastecimento de água, mas que, em contrapartida, não contribuiu para diminuir o déficit de coleta e tratamento de esgoto, o que é ainda verificado atualmente. Até 2006, apenas 15% do esgoto sanitário gerado nas regiões urbanas dos municípios do Brasil era tratado (SNIS, 2007).

Atualmente, o setor tem recebido maior atenção governamental e existe uma quantidade significativa de recursos a serem investidos. No entanto, esses investimentos devem, além de gerar os benefícios já esperados quanto à melhoria da qualidade da água e dos índices de saúde pública, atender aos padrões mínimos de qualidade, sendo definidos pela legislação específica do setor, com a finalidade de garantir a sustentabilidade dos mesmos (MORAES, 2012).

3.3 ESGOTO DOMÉSTICO

A problemática do saneamento básico no Brasil pode ser medida pelo número de municípios existentes no país sem qualquer tipo de serviço de esgotamento sanitário. Segundo o IBGE (2008), 52,2% das 5.507 cidades brasileiras estavam nesta situação calamitosa. A imensa maioria dos municípios que se encontra em tal conjuntura possui população inferior a 10.000 habitantes e corresponde a 48,4% de todas as cidades brasileiras, nos quais 47,1% dos cidadãos vivem na zona rural. Em todo o Brasil, 18,8% dos habitantes vivem na área rural, tal valor em termos absolutos equivale a mais de 31 milhões de pessoas, número superior a toda a população da região Sul (IBGE, 2008).

A maior parte dessas localidades lança seus dejetos *in natura* nos corpos hídricos ou no solo, comprometendo a qualidade da água utilizada para o abastecimento, irrigação e recreação (TONETTI et al., 2010).

A consciência pública sobre os problemas de poluição da água tem crescido consideravelmente nas últimas décadas, aumentando, assim, o número de regulamentações cada vez mais rigorosas quanto à descarga de águas residuais (ZENG et al., 2007).

A instalação de um sistema de coleta e tratamento de esgotos de confiança promove a melhoria da saúde global e do saneamento, e por consequência, a redução da propagação de doenças de veiculação hídrica, o que ajuda aliviar o sistema de saúde (MUGA et al., 2009).

Grande parte das doenças que se alastram nos países em desenvolvimento é proveniente da água de má qualidade (FUNASA, 2004). Muitas dessas doenças que surgem do contato com as águas residuais são causadas por agentes patogênicos e os mais comuns nos esgotos são as bactérias, parasitas e vírus. Estes agentes causam desde diarreias até infecções e em longo prazo podem causar doenças graves e levar até a morte.

O tratamento de efluentes domésticos pode ser realizado com o emprego de diferentes processos físicos, químicos ou biológicos. Na maioria das vezes, é necessário o emprego conjunto de mais de um desses processos para que o efluente retorne em condições adequadas de destinação ou que seja possível o seu reuso.

O tratamento físico-químico da água e efluentes é usado principalmente para controlar poluentes não removidos por processos biológicos convencionais; reduzir a carga orgânica precedendo o tratamento biológico diminuindo o dimensionamento da Estação de Tratamento de Efluentes ou Esgoto (ETE) (CHEIS, 2014).

O processo físico-químico retira também poluentes como o fósforo orgânico solúvel, nitrogênio, matéria orgânica, bactéria, vírus, sólidos em suspensão, sólidos coloidais e soluções que contribuam para turbidez. Uma das aplicações mais nobres é o uso do tratamento para produzir água potável (CHEIS, 2014).

O tratamento biológico é utilizado para degradação de matéria orgânica dos efluentes, através de ação de agentes biológicos como algas, bactérias, protozoários, etc., que pode ocorrer de forma aeróbia, com utilização de oxigênio e anaeróbia, sem oxigênio. O sistema MBR (*Membrane Bio Reactor*) está entre o que existe de mais avançado em tratamento de efluentes domésticos e industriais, com eficiência elevada e aplicação em diversas situações (CHEIS, 2014).

3.4 PROGRAMA ÁGUA LIMPA DO ESTADO DE SÃO PAULO

O Departamento de Águas e Energia Elétrica é o órgão gestor dos Recursos Hídricos do Estado de São Paulo. Para melhor desenvolver suas atividades, atua de maneira descentralizada, desde de 1986, atuando segundo os termos da Lei nº. 7.663/91, a qual deu origem aos Comitês de Bacias Hidrográficas, adotando as Bacias Hidrográficas como Unidade Física-Territorial de Planejamento e Gerenciamento (GOMES; BARBIERI, 2004).

Além da Superintendência e de diretorias de administração geral, situadas em São Paulo, o DAEE conta, no interior do Estado, com 8 (oito) diretorias de Bacias Hidrográficas espalhadas pelo território do estado de São Paulo, que desenvolvem atividades de

gerenciamento (outorga, fiscalização, participação e suporte nos comitês e atendimento aos usuários) e Assistência Técnica (elaboração de estudos e projetos, análise e acompanhamento de projetos FEHIDRO e coordenação de convênios com Prefeituras) (GOMES; BARBIERI, 2004).

Com o objetivo de ser o primeiro Estado a universalizar o saneamento básico no Brasil, São Paulo criou, em 2005, o Programa Água Limpa. O programa do Governo paulista para o tratamento do esgoto é voltado aos municípios com até 50 mil habitantes não atendidos pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) e que despejam seus esgotos domésticos *in natura* nos córregos e rios locais (LEONETI; PRADO; OLIVEIRA, 2011).

Nesse contexto, o DAEE recebeu a atribuição de acompanhar projetos e obras do Programa Água Limpa, vinculado à Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos em parceria com os municípios elegíveis, no caso, os que possuem população inferior a 50 mil habitantes, e tem o papel de executar obras de saneamento básico em regime de cooperação com as administrações municipais. É um programa incluído no plano plurianual – PPA 2012/2015, que é coordenado pelo DAEE (PEREIRA; HELLER, 2015).

A partir de uma ação conjunta da Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos – por meio do DAEE e da Secretaria da Saúde, o Programa Água Limpa constrói estações de tratamento de esgotos e implanta emissários e estações elevatórias. O programa é responsável pela contratação das obras, acompanhamento técnico, desenvolvimento de projetos e providencia licenças ambientais (PEREIRA; HELLER, 2015).

Segundo o Projeto das ETE's realizado pelo DAEE, o sistema de tratamento de esgoto doméstico adotado pelo Programa Água Limpa é composto por três lagoas de estabilização: anaeróbia, facultativa e de maturação. Constituem três fases, em que o esgoto urbano é depurado pela ação de bactérias e algas, obtendo uma redução de até 95% de sua carga poluidora, medida em DBO (ERCOLE, 2003).

Trata-se de um processo natural que não exige equipamentos sofisticados, nem adição de produtos químicos, sendo, portanto, de fácil operação e manutenção. Estas características tornam o processo ideal para comunidades de pequeno e médio porte que disponham de terrenos de baixo custo, pois a ETE ocupa áreas relativamente grandes (ERCOLE, 2003).

Na primeira lagoa, o esgoto bruto (99% de água e 1% de sólidos) fica em contato com bactérias anaeróbias (que não necessitam de oxigênio). Em apenas cinco dias, as bactérias reduzem em 50% a carga poluidora. Esta etapa gera gás metano, que exala mau cheiro, e cria

uma crosta na superfície que ajuda a manter as condições anaeróbias no meio líquido (DÍAZ, 2013).

Na segunda lagoa ocorre o tratamento biológico, em que a decomposição da matéria orgânica é realizada por bactérias anaeróbias no fundo da lagoa, bactérias aeróbias (que necessitam oxigênio) na superfície e bactérias chamadas facultativas, que se adaptam a ambas as condições. Em cerca de 20 dias, as bactérias removem mais de 85% da carga poluidora (VALE, 2006).

Os coliformes fecais e outros agentes que provocam doenças são eliminados na terceira lagoa (de maturação), onde o esgoto já praticamente tratado passa por um processo de purificação. As bactérias são eliminadas pela ação de algas. O esgoto tratado é então lançado nos córregos e ribeirões, com padrão adequado para sustentabilidade da flora e da fauna aquáticas (VALE, 2006).

Instituído pelo Decreto Estadual nº. 52.697, de fevereiro de 2008, o Programa Água Limpa vem dando continuidade ao “Projeto Água Limpa” que originou esta ação exitosa de Saneamento Básico no Estado junto aos municípios paulistas com até 50 mil habitantes e não operados pela SABESP.

Sessenta e cinco municípios já foram ou estão sendo atendidos com a contratação de Projetos Executivos para as obras necessárias de serem implementadas.

Ainda de acordo com o governo do Estado de São Paulo o Programa tem por objetivo contribuir para a diminuição das taxas de mortalidade infantil e de transmissão de doenças de veiculação hídrica, por meio da recuperação da qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo, e tem como propósito obter 100% do esgoto tratado no estado e com metas como:

- A redução sensível das doenças de veiculação hídrica, como a diarreia;
- Revitalização da bacia hidrográfica beneficiada com uma melhor qualidade para as águas dos cursos d’água ali existentes, fundamentalmente a jusante;
- Aumento na disponibilidade de água para os usos múltiplos na bacia hidrográfica, possibilitando um melhor equacionamento destes usos;
- Melhores condições de desenvolvimento econômico e social em função da maior disponibilidade de boa água promovida pela realização das obras que possibilita maiores chances de emprego e renda para a população moradora na bacia hidrográfica que foi recuperada, com a retirada da carga orgânica de seus rios e córregos;
- Retomada da vida aquática nos cursos d’água e nas bacias hidrográficas;
- Redução dos conflitos pelo uso dos recursos hídricos (SÃO PAULO, 2008).

O Programa também tem como objetivo contribuir para reverter o quadro tendencial de degradação dos cursos d’água, com a implantação de sistemas de tratamento de efluentes

em municípios de pequeno porte, em uma primeira fase nos que não são operados pela SABESP ou outras concessionárias, nas 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHIs).

3.5 AUTODEPURAÇÃO DOS CORPOS D'ÁGUA

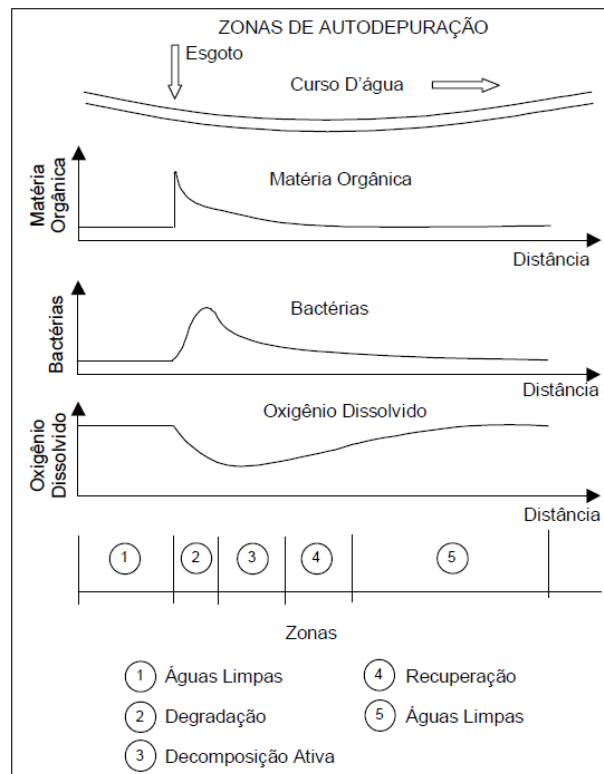
A matéria orgânica presente no esgoto é a causa de um dos principais problemas de poluição das águas. Quando está presente em grande quantidade pode causar o aumento do número de microrganismos e, conseqüentemente, o consumo excessivo do oxigênio dissolvido; assim, o oxigênio é um dos principais parâmetros de caracterização dos efeitos da poluição das águas por despejos orgânicos e um dos principais indicadores da qualidade da água (CUNHA; FERREIRA, 2006).

A matéria orgânica é introduzida nos corpos d'água principalmente por meio do lançamento de esgoto doméstico, podendo estar presente em alguns efluentes industriais ou até mesmo naturalmente, como parte dos ciclos biogeoquímicos. A autodepuração é o restabelecimento do equilíbrio no meio aquático, por mecanismos essencialmente naturais, após as alterações induzidas pelos despejos afluentes. O equilíbrio está diretamente relacionado à capacidade do corpo d'água de assimilar os lançamentos, não conflitando com a sua utilização (CUNHA; FERREIRA, 2006).

O processo de autodepuração é entendido como sendo a capacidade dos cursos de água de recuperarem o equilíbrio, por meio de processos naturais, depois do lançamento de cargas poluidoras. Isto não significa, necessariamente que as águas voltarão às condições anteriores, mas que, o ecossistema pode alcançar o equilíbrio com outras particularidades, sem desenvolver ou trazer qualquer problema ambiental (DE PAULA, 2011).

Há quatro zonas de autodepuração ao longo de um curso d'água e a Figura 2 apresenta a trajetória da matéria orgânica, bactérias decompositoras e oxigênio dissolvido ao longo dessas quatro zonas (VON SPERLING, 2005).

Figura 2 – Trajetória dos principais parâmetros ao longo do curso d'água em função das zonas de decomposição.



Fonte: Von Sperling (2005)

Uma das primeiras formulações matemáticas utilizadas para o cálculo do perfil de oxigênio dissolvido, após o lançamento de matéria orgânica no corpo hídrico, foi proposta por Streeter e Phelps em 1925 e tal formulação passou a ser conhecida como o Modelo de Streeter e Phelps, no qual a hipótese básica é que a taxa de decomposição da matéria orgânica no meio aquático é proporcional à concentração da matéria orgânica presente em um dado instante de tempo (ANDRADE, 2010).

O modelo de Streeter e Phelps depende das variáveis: vazão do rio, a montante do lançamento (Q_r); vazão de esgotos (Q_e); oxigênio dissolvido no rio, a montante do lançamento (OD_r); oxigênio dissolvido no esgoto (OD_e); DBO_5 no rio, a montante do lançamento (DBO_r); DBO_5 do esgoto (DBO_e); coeficiente de desoxigenação (K_1); coeficiente de reaeração (K_2); velocidade de percurso do rio (v); tempo de percurso (t); concentração de saturação de OD (C_s); oxigênio dissolvido mínimo permissível (OD_{min}) (VON SPERLING, 2005).

Para acelerar esse processo de autodepuração (ou estabilização) natural dos corpos d'água o homem constrói e opera as unidades chamadas estações de tratamento de esgoto.

Mendonça (2007 apud De Paula 2011) realizou um estudo sobre a capacidade de autodepuração do rio Meia Ponte, situado em Goiânia, no Estado de Goiás, com análises de qualidade da água, determinação do coeficiente de desoxigenação e da DBO última; além de verificar o impacto da ETE água do rio, concluindo que a mesma não apresentava eficiência satisfatória.

Berzoini (2006 apud De Paula 2011) realizou estudos sobre o lançamento de esgotos no rio Paraibuna, situado na área urbana de Juiz de Fora (Minas Gerais), verificando capacidade de autodepuração em cerca de 27 Km, sendo que as fontes de poluição ocorriam por meio de seus tributários, lançamentos de redes de esgoto sanitário e redes de drenagem urbana.

Scalizi et al. (2004) analisaram o Ribeirão das Cruzes, na cidade de Araraquara (São Paulo), por meio de depressão do oxigênio dissolvido depois de receber efluente da ETE de Araraquara, chegando a conclusão de que o Ribeirão das Cruzes apresentava capacidade precária e insuficiente de autodepuração no que se refere ao oxigênio dissolvido, uma vez que, o menor índice encontrado foi aproximadamente 2,0 mg/L.

Palma-Silva; Tauk-Tornisielo; Pião (2007) relataram que a capacidade de autodepuração de uma extensão do rio Corumbataí, na cidade de Corumbataí (São Paulo), apresentava uma taxa bastante elevada de depuração. Na época de seca e temperaturas baixas, a depuração tendeu a ficar 70,3% em razão da declividade acentuada desta extensão, aos seus meandros e formações rochosas de fundo, da mesma maneira que, pela presença de mata ciliar.

Cumprido salientar que, a autodepuração de curso de água é um processo bastante complexo, contando com diversas vertentes para os estabelecimentos dos coeficientes de desoxigenação e reaeração.

A matéria orgânica existente no esgoto normalmente encontra-se em suspensão, propendendo a sedimentar no curso de água e formar o lodo do fundo e, quando é dissolvida, ficando na massa líquida em razão da proximidade com a densidade da água.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO ESTUDADO

Foram realizadas visitas técnicas à ETE Norte do município de Presidente Venceslau – SP, bem como trabalhos de gabinete para entendimento do projeto de tratamento de esgoto adotado. Foram levantadas informações para caracterização da ETE Norte e sua operação.

A Figura 3 apresenta um croqui da ETE Norte de Presidente Venceslau, com a indicação do ponto onde ocorre o lançamento do esgoto tratado no córrego.

Além disso, a título de comparação, foi apresentada a estrutura de tratamento da ETE *Sugar Creek*, localizada nos Estados Unidos, a qual foi visitada durante a realização desta pesquisa de mestrado para se comparar as diferentes tecnologias e formas de operação adotadas nesse tipo de sistema de tratamento de esgotos domésticos.

4.2 AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DO ESGOTO TRATADO

Foram realizadas coletas e análises físico-químicas do esgoto bruto e tratado nos anos de 2015 a 2018, em intervalos anuais. Também foram realizadas, no mesmo período, análises físico-químicas da água do córrego onde ocorre o lançamento de esgoto tratado, antes e depois do lançamento do esgoto doméstico no corpo d'água.

Os resultados das análises foram fornecidos pela Prefeitura Municipal de Presidente Venceslau, que contratou o serviço de análises laboratoriais para a realização das análises necessárias ao monitoramento da ETE e da qualidade da água do córrego.

A ETE começou a ser monitorada a partir de 2015, ano em que a mesma entrou em operação.

As análises realizadas no ano de 2015 foram feitas pelo Laboratório Keller Ambiental.

Os resultados das análises das amostras no primeiro semestre do ano de 2016 foram fornecidos por Laboratório credenciado, porém seu nome não foi informado pela Prefeitura Municipal. Também no ano de 2016, foram utilizados dados de análises fornecidas pela CETESB.

Figura 3 – Croqui de Implantação da ETE Norte de Presidente Venceslau.



Fonte: DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica.

Em 2017, foram determinados parâmetros de monitoramento também por laboratório credenciado, cujo nome não foi informado.

No primeiro semestre de 2018, foram determinados, pelo Laboratório ASL – Análises Ambientais, os parâmetros de monitoramento. Também em 2018, já no segundo semestre, foram determinados, pelo Laboratório Controle Analítico – Análises Técnicas Ltda, os parâmetros de monitoramento.

No Quadro 1 está apresentada a relação de laboratórios que realizaram as análises químicas das amostras referentes ao monitoramento da ETE Norte desde do início da sua operação.

Quadro 1 – Análises de monitoramento da ETE Norte de Presidente Venceslau.

Laboratórios	Ano	Parâmetros
Keller Ambiental	2015	diversos
Prefeitura Municipal de Presidente Venceslau	2016	diversos
CETESB	2016	diversos
ASL – Análises Ambientais	2017	diversos
Controle Analítico – Análises Ambientais	2018	diversos

Fonte: Autoria própria (2019).

A partir dos resultados, foram realizados os cálculos de eficiência do tratamento da ETE Norte, conforme equação 1:

$$\text{Eficiência (\%)} = \left(\frac{\text{Valor final do parâmetro analisado} - \text{Valor inicial do parâmetro analisado}}{\text{Valor final do parâmetro analisado}} \right) \times 100 \quad (\text{eq. 1})$$

4.3 ANÁLISE DO PERFIL DE AUTODEPURAÇÃO DE UM TRECHO DO CÓRREGO DO VEADO

Para a determinação da capacidade de autodepuração do trecho analisado do córrego aonde ocorre o lançamento do esgoto tratado da ETE Norte de Presidente Venceslau, foi adotada a modelagem matemática de Streeter e Phelps, conforme metodologia descrita por Von Sperling (2005).

A equação 2 apresenta o cálculo da concentração da demanda bioquímica de oxigênio da mistura (rio/esgoto tratado).

$$DBO_{5_0} = \frac{Q_r \cdot DBO_r + Q_e \cdot DBO_e}{Q_r + Q_e} \quad (\text{eq. 2})$$

Em que:

Q_r = vazão do rio;

Q_e = vazão do esgoto tratado lançado no córrego;

DBO_r = demanda bioquímica de oxigênio do rio;

DBO_e = demanda bioquímica de oxigênio do esgoto tratado;

DBO_{5_0} = demanda bioquímica de oxigênio da mistura (rio/esgoto tratado).

A equação 3 apresenta o cálculo da concentração de oxigênio dissolvido da mistura (rio/esgoto tratado).

$$C_o = \frac{Q_r \cdot OD_r + Q_e \cdot OD_e}{Q_r + Q_e} \quad (\text{eq. 3})$$

Em que:

Q_r = vazão do rio;

Q_e = vazão de esgoto tratado lançado no córrego;

OD_r = oxigênio dissolvido do rio;

OD_e = oxigênio dissolvido do esgoto tratado;

C_o = oxigênio dissolvido da mistura (rio/esgoto tratado).

De acordo com Köppen e Geiger a classificação do clima é Aw. E 22,1 °C é a temperatura média em Presidente Venceslau. A pluviosidade média anual é 1173 mm (<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/sao-paulo/presidente-venceslau-52300/#climate-graph>). Como não se tinha a temperatura da água, adotou-se, neste estudo, a temperatura média em Presidente Venceslau de 22,1° C como sendo a temperatura da água.

A altitude do município de Presidente Venceslau é de 422 metros (https://pt.wikipedia.org/wiki/Presidente_Venceslau).

Os dados de temperatura e altitude, acima citados, foram utilizados para determinar a concentração de saturação de oxigênio (C_s), conforme a Tabela 1. Para o cálculo de C_s

utilizou-se na Tabela 1 a temperatura de 22° C e fez a interpolação de altitude entre 0 e 500 m (422 m).

Tabela 1 – Cs de oxigênio (mg/L) em função da temperatura e altitude.

Temperatura (°C)	Altitude			
	0	500	1000	1500
10	11,3	10,7	10,1	9,5
11	11,1	10,5	9,9	9,3
12	10,8	10,2	9,7	9,1
13	10,6	10,0	9,5	8,9
14	10,4	9,8	9,3	8,7
15	10,2	9,7	9,1	8,6
16	10,0	9,5	8,9	8,4
17	9,7	9,2	8,7	8,2
18	9,5	9,0	8,5	8,0
19	9,4	8,9	8,4	7,9
20	9,2	8,7	8,2	7,7
21	9,0	8,5	8,0	7,6
22	8,8	8,3	7,9	7,4
23	8,7	8,2	7,8	7,3
24	8,5	8,1	7,6	7,2
25	8,4	8,0	7,5	7,1
26	8,2	7,8	7,3	6,9
27	8,1	7,7	7,2	6,8
28	7,9	7,5	7,1	6,6
29	7,8	7,4	7,0	6,6
30	7,6	7,2	6,8	6,4

Fonte: Von Sperling (2005)

Com o valor de Cs (Tabela 1) e o valor de Co (equação 3) foi possível calcular o déficit de oxigênio (Do) pela equação 4:

$$D_o = C_s - C_o \quad (\text{eq. 4})$$

Em que:

Cs = concentração de saturação de oxigênio;

Co = concentração oxigênio dissolvido da mistura (rio/esgoto tratado);

Do = déficit de oxigênio.

O coeficiente de desoxigenação (K1) depende do tipo da matéria orgânica e do grau de tratamento, além da temperatura e da presença de substâncias inibidoras. Efluentes tratados, por exemplo, possuem uma taxa de degradação mais lenta, pelo fato da maior parte da matéria orgânica mais facilmente assimilável já ter sido removida, restando apenas a parcela de estabilização mais vagarosa. Para a determinação de K1 no presente estudo, adotou-se o valor tabelado para a média de efluente secundário (Tabela 2).

Tabela 2 – Valores genéricos do coeficiente K1 (base e, 20° C).

ORIGEM	K ₁ (d ⁻¹)
Água residuária concentrada	0,35 – 0,45
Água residuária de baixa concentração	0,30 – 0,40
Efluente primário	0,30 – 0,40
Efluente secundário	0,12 – 0,24
Efluente terciário	0,10 – 0,20
Rios com águas limpas	0,09 – 0,21
Água para abastecimento público	< 0,12

Fonte: Von Sperling (2005).

Após, fez-se a correção do valor de K1, pois o valor de K1 depende da temperatura, que exerce uma grande influência no metabolismo microbiano (equação 5).

$$K_{1T} = K_{120} \cdot \theta^{(T-20)} \quad (\text{eq. 5})$$

Em que:

K_{1T} = coeficiente de desoxigenação a uma temperatura T qualquer (d⁻¹);

K₁₂₀ = coeficiente de desoxigenação a uma temperatura T = 20° C (d⁻¹);

T = temperatura do líquido (°C);

θ = coeficiente de temperatura (adimensional), usualmente 1,047.

O valor do coeficiente de reaeração (K2) de um corpo d'água pode ser determinado por meio de métodos estatísticos. Os dados de entrada são oxigênio dissolvido (OD) a diversos tempos (t). A seleção do valor do coeficiente K2 tem uma maior influência nos resultados do balanço do oxigênio dissolvido do que o coeficiente K1, pelo fato das faixas de variação do último serem mais estreitas.

Para o estudo, foi adotado o valor médio de K2, segundo a Tabela 3, considerando-se rios vagarosos, grandes lagos.

Tabela 3 – Valores típicos de K₂ (base e, 20o C).

CORPO D'ÁGUA	K ₂ (d ⁻¹)	
	PROFUNDO	RASO
Pequenas lagoas	0,12	0,23
Rios vagorosos, grandes lagos	0,23	0,37
Grandes rios com baixa velocidade	0,37	0,46
Grandes rios com velocidade normal	0,46	0,69
Rios rápidos	0,69	1,15
Corredeiras e quedas d'água	>1,15	>1,61

Fonte: Von Sperling (2005)

O coeficiente de reaeração também depende da temperatura e precisa ser corrigido, de acordo com a equação 6:

$$K_{2T} = K_{220} \cdot \theta^{(T-20)} \quad (\text{eq. 6})$$

Em que:

K_{2T} = coeficiente de reaeração a uma temperatura T qualquer (d⁻¹);

K₂₂₀ = coeficiente de reaeração a uma temperatura T = 20°C (d⁻¹);

T = temperatura do líquido (°C);

θ = coeficiente de temperatura (adimensional), usualmente 1,024

Também foi necessário calcular a constante de transformação (K_T) da DBO₅ a DBO última, calculada pela equação 7:

$$K_T = \frac{DBO_u}{DBO_5} = \frac{1}{1 - e^{-5K_1}} \quad (\text{eq. 7})$$

Em que:

K₁ = coeficiente de desoxigenação a uma temperatura T qualquer (d⁻¹);

K_T = constante de transformação da DBO₅ a DBO_u.

A demanda última de oxigênio, logo após a mistura (L_o) foi calculada pela equação 8:

$$L_o = DBO_{5_o} \cdot K_T \quad (\text{eq. 8})$$

Em que:

DBO_{5_o} = concentração de DBO_5 , logo após a mistura (mg/L);

L_o = demanda última de oxigênio, logo após a mistura (mg/L).

K_T = constante de transformação da DBO_5 a DBO_u .

O tempo crítico (t_c) foi calculado pela equação 9:

$$t_c = \frac{1}{K_2 - K_1} \ln \left\{ \frac{K_2}{K_1} \left[1 - \frac{D_o \cdot (K_2 - K_1)}{L_o \cdot K_1} \right] \right\} \quad (\text{eq. 9})$$

E a distância crítica (d_c) foi calculada pela equação 10:

$$d_c = t_c \cdot v \cdot 86400 \quad (\text{eq. 10})$$

O déficit crítico (D_c) foi calculado pela equação 11:

$$D_c = \frac{K_1}{K_2} L_o \cdot e^{-K_1 \cdot t_c} \quad (\text{eq. 11})$$

Assim, a concentração crítica de oxigênio dissolvido (C_c) foi dada pela equação 12:

$$C_c = C_s - D_c \quad (\text{eq. 12})$$

E o perfil de oxigênio dissolvido ao longo do tempo e da distância, que possibilita plotar num diagrama o perfil de oxigênio dissolvido ao longo do tempo (em dias) e da distância (em quilômetros) foi dado pela equação 13:

$$C_t = C_s - \left[\frac{K_1 \cdot L_o}{K_2 - K_1} (e^{-K_1 \cdot t} - e^{-K_2 \cdot t}) + D_o \cdot e^{-K_2 \cdot t} \right] \quad (\text{eq. 13})$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Estação de Tratamento de Esgotos Domésticos (ETE) Norte do município de Presidente Venceslau – São Paulo foi o local escolhido para a realização do presente estudo.

A ETE Norte está localizada na Rodovia PSV - 060, km 25, mais 850 metros, no bairro rural Aymoré (estância Rodeio) em Presidente Venceslau – SP.

A Figura 4 apresenta uma imagem com a vista geral da ETE Norte de Presidente Venceslau – SP.

Figura 4 – Vista geral da ETE Norte de Presidente Venceslau – SP.



Fonte: Autoria própria (2016).

A Figura 5 apresenta a vista aérea da ETE Norte e a Figura 6 apresenta a vista aérea da ETE com destaque para a confluência do córrego da Mangueira, o qual recebia esgoto *in natura* (antes do início da operação da ETE) com o córrego do Veado (o qual recebe atualmente o esgoto tratado pela ETE).

Figura 5 – Vista aérea da ETE Norte de Presidente Venceslau – SP.



Fonte: Autoria própria (2017).

Figura 6 – Vista aérea da ETE Norte de Presidente Venceslau – SP com destaque para os córregos do entorno.



Fonte: Autoria própria (2017).

O estudo foi realizado no período de 2015 a 2018 em que se buscou analisar em que condição fica o corpo d'água com o lançamento da carga orgânica recebida com o tratamento do esgoto doméstico, a partir do início da operação da ETE Norte em 2015.

5.1.1 O tratamento de esgoto doméstico na ETE Norte de Presidente Venceslau

A ETE Norte, objeto de estudo nesta pesquisa, se encontra em pleno funcionamento, desde do mês de setembro do ano de 2015, recebendo os esgotos domésticos da Bacia Norte do município de Presidente Venceslau, sendo assim cerca de 18.000 habitantes estão sendo atendidos pela ETE Norte, na UGRHI 21.

A Bacia Hidrográfica Sul do município de Presidente Venceslau, com cerca de 20.000 habitantes, será atendida pela ETE Sul, que se localiza na UGRHI 22. A ETE Sul está em fase de execução.

Durante o desenvolvimento do projeto da ETE Norte, os parâmetros vazão média, carga orgânica e concentração de DBO do esgoto bruto foram estimados conforme a Tabela 4.

Tabela 4 – Parâmetros de projeto da ETE Norte.

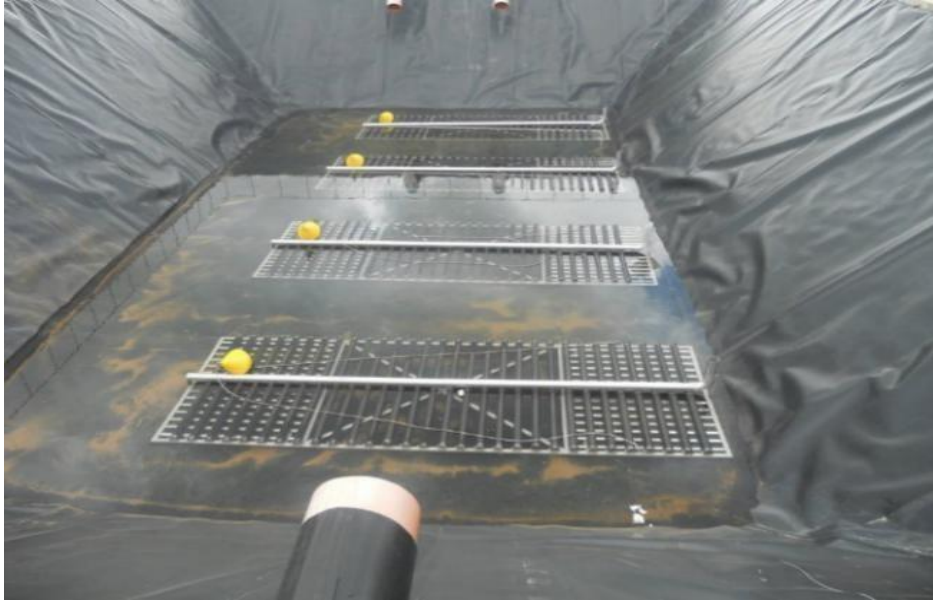
Ano	População (hab)	Vazões Totais de Esgotos				Carga Orgânica (kgDBO ₅ /d)	Concentração dos Esgotos (mgDBO ₅ /L)
		Média (L/s)	Máxima Diária (L/s)	Máxima Horária (L/s)	Mínima Diária (L/s)		
2010	18.136	37,5	42,9	59,1	27,4	786	243
2020	20.400	38,5	44,1	60,7	28,2	808	243
2030	22.700	39,5	45,1	62,1	28,8	827	242

Fonte: Adaptado de Memorial Descritivo ETE Norte – Prefeitura de Presidente Venceslau/SP (2016).

A ETE estudada é composta por um sistema de tratamento compacto que inclui um tratamento preliminar com gradeamento, caixa de areia, calha Parshall e tanque de decantação primário, seguido de tratamento secundário, onde os efluentes passam pelo tanque pulmão, tanque anaeróbio, tanque anóxico, tanque de aeração, tanque de decantação secundário, tanque digestor de lodo/decanter centrífuga. Posteriormente, no tratamento terciário, os efluentes passam por um processo de desinfecção no tanque de contato com gotejamento de cloro com a finalidade de eliminar principalmente as bactérias

termotolerantes e *Escherichia coli*, para enfim serem encaminhados ao emissário final para lançamento no Córrego do Veado, nas coordenadas 21°49'25,4" latitude sul e 51°51'08,6" longitude oeste. As Figuras 7 e 8 apresentam, respectivamente, o tanque de aeração antes e após o seu enchimento com esgoto doméstico.

Figura 7 – Tanque de aeração antes do enchimento (destaque grelhas de injeção de oxigênio).



Fonte: Autoria própria (2015).

Figura 8 – Tanque de aeração após enchimento (injeção de oxigênio).



Fonte: Autoria própria (2019).

O decantador primário, para decantação da areia fina, tem previsão de dragagem a cada cinco anos e os resíduos sólidos extraídos deverão ser encaminhados para o aterro sanitário municipal.

A Figura 9 apresenta a etapa secundária do tratamento de efluentes, na decantação de areia e também na sucção do lodo, onde o lodo é introduzido no tanque digestor de inox para a secagem e o tanque de cloração do esgoto tratado.

Figura 9 – Decantador secundário e tanque digestor de lodo (inox).



Fonte: Autoria própria (2019).

A Figura 10 apresenta a última etapa do tratamento com adição de cloro no tanque de contato.

Figura 10 – Tanque de contato com adição de cloro.



Fonte: Autoria própria (2019).

O sistema operante da ETE age com a recirculação de lodo a partir do tanque anaeróbio, e por fim o lodo depositado no tanque de decantação secundário é encaminhado para o tanque digestor de lodo, onde acumula água com excesso de bactérias e estas seguem para o decanter centrífuga, onde há a separação da água da matéria orgânica; a água volta ao sistema de tratamento e a matéria orgânica (lodo) é depositada em caçambas para ser enviada ao aterro sanitário.

A Figura 11 apresenta a etapa de centrifugação de lodo, onde este é encaminhado para centrífuga a partir do tanque do digestor de inox e ali há o processo de separação da água e do lodo seco, desta forma a água volta a recircular no sistema no tanque anaeróbio, no tratamento primário, e a lodo seco é depositado em caçamba e encaminhado ao aterro sanitário municipal (Figura 12).

Figura 11 – Centrífuga para secagem de lodo.



Fonte: Autoria própria (2018).

Quanto à tecnologia utilizada na ETE implantada no município de Presidente Venceslau, cabe destacar alguns aspectos, tais como: a aeração (injeção eletrônica de oxigênio no sistema); a formação do lodo no tanque decantador secundário e posterior encaminhamento ao tanque digestor de lodo, onde há o processo final de centrifuga e secagem; e o gotejamento de cloro no tanque final de tratamento, que além de terem favorecido o tratamento, por conseguir compactar o sistema utilizando uma área de 11.135 m², bem menor, do que se fosse um sistema de lagoas australianas, também contribuem para um sistema de tratamento de efluentes moderno e eficaz.

Figura 12 – Caçamba, centrífuga e decanter e caçamba para deposição de lodo seco.



Fonte: Autoria própria (2018).

5.1.2 O tratamento de esgoto doméstico na ETE *Sugar Creek* e comparativo entre as ETEs

Com a intenção de conhecer uma outra tecnologia de tratamento de esgotos domésticos, foi possível durante esta pesquisa de mestrado a visita à Estação de Tratamento de Esgotos Domésticos *Sugar Creek*, localizada em um bairro residencial, na cidade de Charlotte, condado de Mecklenburg, no estado da Carolina do Norte – Estados Unidos, país que dedica altos investimentos financeiros na área do saneamento básico, principalmente na coleta e tratamento de esgoto. A visita técnica na estação de tratamento de esgoto *Sugar Creek* aconteceu em 17 de junho do ano de 2017.

A sequência das etapas de tratamento de esgoto não difere muito do sistema brasileiro com o medidor de vazão, calha Parshall, na entrada do tratamento, logo após o tanque de aeração, com a pequena diferença que este possui sensores digitais, onde a operadora da estação consegue visualizar, de seu computador, a quantidade de agentes poluidores existentes naquele efluente recém chegado para o tratamento, tais como, nitrato, metais pesados, amônia, coliformes fecais, entre outros.

A Figura 13 apresenta o mapa dos Estados Unidos, com destaque para a cidade de Charlotte, no estado da Carolina do Norte.

Figura 13 – Mapa dos Estados Unidos, para destaque para a cidade de Charlotte, no estado da Carolina do Norte.



Fonte : <https://pt.maps-charlotte.com/charlotte-nc-sobre-n%C3%B3s-mapa>

A Figura 14 apresenta a vista aérea da ETE *Sugar Creek*.

Figura 14 – Vista aérea da ETE *Sugar Creek*.



Fonte: Google Earth (2019).

As Figuras 15 a 20 apresentam a sequência das etapas de operação da ETE *Sugar Creek*, na cidade de Charlotte, estado da Carolina do Norte, nos Estados Unidos.

Figura 15 – Chegada do esgoto na calha parshal da ETE *Sugar Creek*.



Fonte: Autoria própria (2017).

Figura 16 – Tanque de aeração da ETE *Sugar Creek*.



Fonte: Autoria própria (2017).

Figura 17 – Tanque de decantação secundária da ETE *Sugar Creek*.



Fonte: Autoria própria (2017).

Figura 18 – Tanque de filtração com carvão antracite da ETE *Sugar Creek*.



Fonte: Autoria própria (2017).

Figura 19 – Tanque de desinfecção e radiação ultravioleta da ETE *Sugar Creek*.



Fonte: Autoria própria (2017).

Figura 20 – Lançamento do esgoto tratado no Riacho *Sugar Creek*.



Fonte: Autoria própria (2017).

Seguindo as etapas de tratamento, tem-se o decantador secundário; na sequência o tanque de filtração com carvão ativado, outra diferença do sistema brasileiro; seguido pelas placas metálicas que abrigam as lâmpadas de radiação ultravioleta, responsáveis pela desinfecção dos efluentes, sendo essa a maior diferença e vantagem sobre o sistema brasileiro de tratamento de esgoto, uma vez que essa etapa do processo inativa a ação e a reprodução dos agentes patogênicos e por fim, a etapa final do processo, a qual é uma escada hidráulica de aproximadamente 5 metros de altura, que simula uma montanha, onde há a última oxigenação do processo e o lançamento no córrego que se dá por baixo de muro de concreto, onde se nota a vida aquática do córrego preservada, com a presença de tartarugas e peixes.

Nota-se que o esgoto tratado que sai da estação de tratamento é mais limpo e cristalino a olho nu do que a água natural corrente do riacho, o qual tem o nome de *Sugar Creek* – Riacho Doce. O grau de eficiência dessa estação, em remoção de carga orgânica e demanda bioquímica de oxigênio (DBO) é de 99,9%.

Fazendo-se um comparativo entre a ETE de Presidente Venceslau e a ETE visitada nos Estados Unidos, verificou-se diferença desde as instalações das mesmas até os resultados do efluente tratado.

Após à visita a todas etapas da estação de tratamento de esgoto *Sugar Creek*, pôde-se observar uma grande higiene e organização, superiores às estações de tratamento de esgoto do Brasil. Verificou-se também uma sensação de satisfação entre os funcionários da empresa que trabalhavam ali.

A equipe de manutenção opera a ETE por meio de computadores (onde os dados são enviados por meio de sensores, localizados no tanque de aeração, para os computadores) dos parâmetros de coliformes fecais, oxigênio dissolvido e nitrato. A equipe de manutenção trabalha com três técnicos, cada um em seu computador com o monitoramento dos vários tanques da ETE.

Outro diferencial encontrado nessa ETE é a etapa de desinfecção, por meio da radiação de lâmpadas ultravioleta, onde ocorre o extermínio das bactérias, que sobreviveram à etapa de filtração por meio de carvão ativado antracite.

As lâmpadas ultravioletas ficam alojadas sob uma plataforma de concreto, cercada com por grade de proteção parapeito e vedadas por tampas metálicas. Em uma unidade compacta, a luz germicida ultravioleta altera o DNA das bactérias e vírus até que eles não sejam mais capazes de se reproduzir; sem a capacidade de se reproduzir, os microrganismos se tornam inofensivos e a água pode ser utilizada, em alguns casos, até para o consumo.

Após a etapa de desinfecção pelas lâmpadas ultravioleta, o esgoto é encaminhado ao riacho por meio de uma escada hidráulica de cinco metros de altura, onde passa pela última aeração – oxigenação e chegando ao nível do riacho, o mesmo passa por um filtro mecânico e é introduzido ao córrego.

O lugar abriga ainda um amplo refatório com varanda e vista para um bosque com animais como patos, peixes e tartarugas no riacho logo após o lançamento de esgoto tratado pela estação *Sugar Creek*, ou, Riacho Doce, mesmo nome do riacho que recebe o lançamento.

A empresa não forneceu laudos das amostras do esgoto bruto e tratado, no entanto a chefe de operações da ETE informou que os mais de vinte parâmetros medidos, dentre eles, fósforo, surfactantes, nitrogênio amoniacal, nitrato, amônia, metais pesados, sólidos sedimentáveis, coliformes termotolerantes, coliformes fecais, *Escherichia coli*, cromo, chumbo, arsênio, hidrocarbonetos organofosforados, oxigênio dissolvido, DBO, DQO e pH atingem índices satisfatórios, com 99% de eficiência no tratamento do esgoto lançado no córrego *Sugar Creek*.

Com a visita à ETE *Sugar Creek* ficou notável a tecnologia mais avançada e moderna, com operação computadorizada por meio de painéis eletrônicos, em relação à ETE Norte de Presidente Venceslau. Além disso, a ETE *Sugar Creek* é empresa privada e não depende de políticas e investimentos públicos, como é o caso da ETE Norte de Presidente Venceslau. Outros itens que favorecem a qualidade do sistema de tratamento de esgoto americano é uma legislação ambiental mais rigorosa, na qual as amostras devem ter no mínimo 20 (vinte) parâmetros analisados, contra apenas 03 (três) exigidos na legislação brasileira. Ainda, a desinfecção final que por meio de lâmpadas de radiação ultravioleta elimina cerca de 99% dos agentes patogênicos, sistema que não existe na ETE Norte de Presidente Venceslau.

Identificou-se, no Brasil, a tecnologia de tratamento de esgoto por radiação ultravioleta na cidade de Natal – RN, com eficiência de tratamento de 99% (TINÔCO, 2011).

5.2 AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DO ESGOTO TRATADO

Para determinar a eficiência das ETEs é necessário conhecer alguns parâmetros físicos, químicos e biológicos, cujos valores permitem entender o grau de poluição e, conseqüentemente, a eficiência das ETEs.

Os parâmetros comumente avaliados em ambientes aquáticos e em ETEs, tanto na entrada como na saída desses locais podem variar de um tipo de estação para outro, mas, em geral, são: turbidez, temperatura, materiais flutuantes, óleos e graxas, sólidos dissolvidos, cloretos, pH, DBO, OD (oxigênio dissolvido), amônia, coliformes totais, coliformes fecais, entre outros.

A Tabela 5 apresenta os resultados das análises de esgoto realizadas no ano de 2015 na ETE de Presidente Venceslau.

Tabela 5 – Parâmetros analisados na ETE de Presidente Venceslau em 2015.

Parâmetros	Efluente Bruto	Efluente Tratado
pH	7,02	7,09
DQO Total (mg/L)	326,2	167,27
DBO (mg/L)	161,05	51,84
Fósforo Total (mg/L)	0,37	0,07
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	8,82	6,67
Óleos e Graxas (mg/L)	27,5	11,6
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	80	36
Sólidos Sedimentáveis (mL/L)	<1	<1
Surfactantes (mg/L)	4,628	0,417

Fonte: Adaptado do Laudo fornecido pelo laboratório de análises Keller Ambiental (2015).

Analisando os resultados da Tabela 5, pode-se verificar que o pH do esgoto bruto e tratado foi praticamente constante e em torno de 7,0. Todos os demais parâmetros, após o tratamento do esgoto doméstico, tiveram redução considerável, indicando eficiência no tratamento do esgoto. Em especial, a DBO reduziu de 161,05 para 51,84 mg/l, indicando eficiência de remoção de 67,8%.

Metcalf; Eddy (1991) classificam os esgotos domésticos em forte (DBO = 400 mg/L), médio (DBO = 220 mg/L) e fraco (DBO = 110 mg/L), podendo o esgoto do município ser considerado de médio para fraco em termos de carga orgânica. Entretanto, não se sabe dizer se a amostra coletada foi homogênea e representativa em relação às diferenças horárias que alteram a carga e a vazão de entrada do esgoto bruto na ETE, o que pode influenciar na concentração não só da DBO, mas como nos demais parâmetros analisados.

Além disso, infelizmente, a ETE não fez a análise do efluente bruto e tratado em termos de coliformes fecais, parâmetro importantíssimo para determinar a eficiência do sistema de tratamento do esgoto doméstico.

Na Tabela 6 se observa os valores calculados da eficiência da ETE em 2015.

Tabela 6 – Eficiência calculada para a ETE de Presidente Venceslau em 2015.

Parâmetros	Eficiência Calculada (%)
pH	Não determinado
DQO Total	48,72
DBO	67,81
Fósforo Total	81,08
Nitrogênio Amoniacal	24,37
Óleos e Graxas	57,81
Sólidos Suspensos Totais	55,00
Sólidos Sedimentáveis	Não determinado
Surfactantes	90,98

Fonte: Autoria própria (2019).

A partir da análise dos resultados da Tabela 6, verifica-se a eficiência de remoção de DQO de cerca de 49%, DBO de 68%, Fósforo Total de 81%, Nitrogênio Amoniacal de 24%, Óleos e Graxas de 58%, Sólidos Suspensos Totais de 55% e Surfactantes de 91%.

Os dados de projeto, contidos no memorial descritivo do DAEE revelam que a ETE Norte deve ter eficiência de 98%, valor distante do encontrado no ano de 2015, o que pode indicar alguma falha de projeto ou operacional, necessitando de avaliação para a melhoria da eficiência e remoção de DBO. Como citado, a falta de regularidade da vazão e carga de matéria orgânica pode influenciar na eficiência de remoção de DBO.

Em geral, a eficiência de remoção dos parâmetros analisados foi boa, exceto para o nitrogênio, o que pode provocar problemas da eutrofização nos corpos d'água.

A Tabela 7 apresenta os resultados das análises de esgoto realizadas no ano de 2018 na ETE de Presidente Venceslau.

Tabela 7 – Parâmetros analisados na ETE de Presidente Venceslau em 2018.

Parâmetros	Efluente Bruto (mg/L)	Efluente Tratado (mg/L)
DQO Total (mg/L)	490	87
DBO (mg/L)	89	4,1
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	0,87	Não analisado

Fonte: Adaptado do Laudo fornecido pelo laboratório de Análises Controle Analítico Ltda (2018).

Observando os resultados da Tabela 8, verifica-se o valor do esgoto bruto foi bem inferior ao obtido em 2015, podendo segundo Metcalf; Eddy (1991) ser enquadrado como esgoto fraco (DBO = 110 mg/L).

A eficiência de remoção de DQO foi de cerca de 82% e DBO de 84%. Assim, ao longo dos anos houve melhoria na remoção da matéria orgânica na ETE estudada.

Tabela 8 – Eficiência calculada para a ETE de Presidente Venceslau em 2018.

Parâmetros	Eficiência Calculada (%)
DQO Total	82,24
DBO	84,39

Fonte: Autoria própria (2019).

Pode-se atribuir o aumento da eficiência da ETE a melhorias operacionais, como treinamentos de equipe de operação, cloração eficaz, com a disponibilização de cloro sempre que necessário e na dosagem correta para o gotejamento automático do tanque de contato, prevista em projeto, e ainda uma maior eficácia na recirculação do lodo, uma vez que a equipe aprendeu a operar e a recircular o material.

Na Tabela 9 tem-se um panorama de todos os resultados obtidos na ETE, para o esgoto bruto, desde o ano de 2015 até o ano de 2018 na ETE Norte de Presidente Venceslau, com o destaque para o ano de 2016, cujas as análises foram realizadas pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB e nos outros anos por laboratórios contratados pela Prefeitura Municipal já citados anteriormente no texto.

Tabela 9 – Esgoto bruto na entrada da ETE de 2015 a 2018.

Amostras	pH	OD (mg/L)	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	P _{Total} (mg/L)	N _{amoniacoal} (mg/L)	Óleos e Graxas	SST _{Totais} (mg/L)	S _{Sedimentáveis} (mL/L)	Surfactantes
2015	7,02	*	326,20	161,05	0,37	8,82	27,50	80,00	<1	4,63
2016	*	2,20	537,00	254,20	*	*	*	*	*	*
CETESB 2016	*	*	459,00	189,00	*	*	*	*	*	*
2017	*	2,50	199,00	88,00	*	*	*	*	*	*
04/2018	*	3,30	476,00	230,50	*	*	*	*	*	*
10/2018	*	0,87	490,00	89,00	*	*	*	*	*	*

* Não analisado

Fonte: Autoria própria (2019).

Na Tabela 9 pode-se observar que no ano de 2015 foram analisados vários parâmetros pelo laboratório ASL Análises Ambientais, tais como pH, OD, DQO, DBO, P total (Fósforo total), N amoniacal (Nitrogênio Amoniacal), Óleos e Graxas, SST (Sólidos Suspensos Totais), S sedimentáveis (Sólidos Sedimentáveis) e Surfactantes, menos OD (Oxigênio Dissolvido).

Diante dos resultados dos parâmetros analisados pode-se observar que a DBO do esgoto bruto está abaixo da média teórica de 300 mg/L de DBO para esgoto doméstico, isto pode ter ocorrido por diversos motivos, como horário da coleta em período de pouca utilização de sanitários, coleta em período chuvoso, entre outros; sobre a análise do parâmetro DQO que por métodos indiretos costumam resultar de duas a três vezes o resultado da DBO, está dentro do aceitável, sobre o parâmetro pH, este se encontra dentro da normalidade, e sobre os demais também se encontram dentro dos índices admissíveis pela legislação vigente.

Nos anos seguintes as análises foram reduzidas, isto se deve ao fato do município ser de pequeno porte e por motivos econômicos o mesmo optou por realizar as análises somente dos parâmetros obrigatórios para esgoto doméstico, seguindo o Decreto nº. 8.468 de 1976, art. 18, sendo que a análise inicial, mais completa, resultou em parâmetros dentro dos limites aceitáveis, os municípios de pequeno porte costumam a partir de então realizar análises somente dos parâmetros DBO, DQO e OD.

No ano de 2016 a Prefeitura Municipal realizou a análise dos parâmetros OD, DBO e DQO. A DBO resultou em 254,20 mg/L, superior ao ano de 2015, mas ainda abaixo da média do esgoto bruto, podendo concluir que se trata de um esgoto doméstico “fraco”, levando em conta Presidente Venceslau ser um município de pequeno porte (contribuição per capita teórica de 160 L/hab.dia e coeficiente de retorno água/esgoto de 0,8, segundo dados da equipe técnica do DAE – Departamento de Água e Esgoto do Município); quanto a análise de DQO está dentro da faixa teórica proporcional a DBO, sendo entre 2 a 3 vezes o valor de DBO, fato que se repetiu também nas análises em 2016 feitas pela CETESB. Quanto a análise de OD no esgoto bruto, não há quase presença de oxigênio nesse material, devido a carga de matéria orgânica DBO ser muito alta, confirmado pelo valor de 2,2 mg/l de OD em 2016 pelo laboratório contratado.

Para o ano de 2017, podemos observar pela Tabela 9 que o valor de DBO resultou em valor baixo com resultado de 88,00 mg/L podendo este fato ser explicado novamente pela coleta ter sido realizada em período de chuva, ou horário de pouca contribuição de esgoto; quanto a DQO e OD analisados seguem a mesma interpretação acima.

E para as análises dos parâmetros coletados no primeiro semestre do ano de 2018 os resultados de OD, DBO e DQO deram dentro da normalidade.

Já na análise do segundo semestre de 2018, se nota que houve uma diluição na DBO, podendo ser resultado de chuvas, horário de coleta de pouca contribuição do esgoto e, ou, ligações clandestinas de água pluvial, água de chuva na rede coletora de esgoto.

Na Tabela 10 tem-se um panorama de todos os resultados obtidos na ETE para o esgoto tratado, desde o ano de 2015 até o ano de 2018.

Observa-se que no ano de 2015 foram analisados vários parâmetros pelo laboratório ASL Análises Ambientais, tais como pH, OD, DQO, DBO, P total (Fósforo total), N amoniacal (Nitrogênio Amoniacal), Óleos e Graxas, SST (Sólidos Suspensos Totais), S (Sólidos Sedimentáveis) e Surfactantes, menos OD (Oxigênio Dissolvido). Diante dos resultados dos parâmetros analisados pode-se observar que a DBO do esgoto tratado está dentro dos limites do Decreto n°. 8.468 de 1976, art. 18, de 45 a 60 g/hab.dia de DBO para esgoto doméstico. Sobre a análise do parâmetro DQO cuja faixa está entre 90 a 120 g/hab.dia pode-se observar que o resultado da análise deu um pouco acima da faixa limite, fato que pode ser explicado devido ao início dos trabalhos, pouca experiência dos operadores para com a ETE recém-inaugurada; sobre o parâmetro pH, este se encontra dentro da normalidade, e sobre os demais também se encontram abaixo dos índices admissíveis pelo referido Decreto.

Nos anos seguintes as análises foram reduzidas, pelos mesmos motivos do município ser de pequeno porte e por motivos econômicos o mesmo optou por realizar as análises somente dos parâmetros obrigatórios para esgoto doméstico, sendo que a análise inicial, mais completa, resultou em parâmetros dentro dos limites aceitáveis, os municípios de pequeno porte costumam-se a partir de então realizar análises somente dos parâmetros DBO, DQO e OD.

No ano de 2016 a Prefeitura Municipal realizou, por motivos que não se sabe explicar, somente foi analisado o parâmetro Sólidos Sedimentáveis, o qual resultou em 0,10 mg/l, valor praticamente insignificante, conforme art. 18 do Decreto n°. 8.468 de 1976.

Tabela 10 – Esgoto tratado na saída da ETE de 2015 a 2018.

Amostras	pH	OD (mg/L)	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	P _{Total} (mg/L)	N _{amoniacoal} (mg/L)	Óleos e Graxas (mg/L)	SST _{Totais} (mg/L)	S _{Sedimentáveis} (mL/L)	Surfactantes
2015	7,09	*	167,27	51,84	0,07	6,67	11,60	36,00	<1	0,42
2016	*	*	*	*	*	*	*	*	0,10	*
CETESB 2016	*	*	98,00	31,00	*	*	*	*	<0,3	*
2017	*	*	*	*	*	*	*	*	<0,1	*
04/2018	*	*	*	*	*	*	*	*	<0,1	*
10/2018	*	*	87,00	4,10	*	*	*	*	<0,1	*

* Não analisado

Fonte: Autoria própria (2019).

Para o mesmo ano de 2016 a CETESB realizou a análise para os parâmetros de DBO, DQO e sólidos sedimentáveis. Quanto a análise de DBO no esgoto tratado, resultou em um valor bem abaixo dos limites mínimos, pois como a DBO de entrada já era mais baixa a de saída também tenderá a ser; isso se explica, segundo informações da equipe técnica da CETESB, a alguma falha do sistema, podendo ser, como citado anteriormente, horário de coleta de pouca utilização de sanitários e, ou ligações clandestinas na rede coletora de esgoto, resultando numa DBO baixa, de 31 mg/L. A análise dos sólidos sedimentáveis deu valor quase insignificante.

Para o ano de 2017 e início de 2018, não houve análise para os parâmetros citados acima, a menos para os sólidos sedimentáveis, o qual resultou em quantidade inferior à mínima, para a amostra de água do esgoto tratado.

Já no segundo semestre de 2018 a DBO para o esgoto tratado resultou em uma DBO de 4,10 mg/L, isto significa uma amostra suspeita com possibilidade de erro no resultado da análise.

A Tabela 11 mostra os resultados dos parâmetros OD, DBO, DQO e coliformes fecais, à montante do lançamento do esgoto tratado no córrego, ou seja, antes da estação de tratamento de esgoto ETE Norte, para os anos de 2016 e 2018.

Tabela 11 – Água coletada no córrego à montante do lançamento de esgoto tratado de 2015 a 2018.

Amostras	OD (mg/L)	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	Coliformes fecais (UFC/100ml)
2015	*	*	*	*
2016	*	*	*	*
CETESB 2016	*	50,00	2,00	520,00
2017	*	*	*	*
04/2018	*	*	*	*
10/2018	7,23	40,00	3,60	3.600,00

* Não analisado

Fonte: Aatoria própria (2019).

Na Tabela 11 temos os resultados para o ano de 2016, de DBO de 2,00 mg/L, DQO de 50,00 mg/L e coliformes fecais de 520 ufc/100ml; os parâmetros estão dentro dos limites aceitáveis descritos no art. 18 do Decreto nº. 8.468 de 1976, para DBO = VR = 5,00 mg/L; para coliformes fecais < 1.000 ufc/100ml. No ano de 2018, o OD foi de 7,23 mg/l, DBO de 3,60 mg/L, DQO de 40,00 mg/L e coliformes fecais de 3.600 ufc/100ml; com coliformes

acima do limite, não se sabendo dizer à sua origem (humana ou animal). De forma geral, o córrego se encontra à montante do lançamento do esgoto tratado com baixa DBO e DQO e oxigênio dissolvido dentro dos valores satisfatórios.

Na Tabela 12 tem-se a análise dos parâmetros OD, DQO, DBO e coliformes fecais, coletados à jusante do lançamento de esgoto tratado, após a estação de tratamento de esgoto da ETE Norte, nos anos de 2016 e 2018.

Tabela 12 – Água coletada no córrego à jusante do lançamento de esgoto tratado de 2015 a 2018.

Amostras	OD (mg/L)	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	Coliformes fecais (UFC/100ml)
2015	*	*	*	*
2016	7,10	15,00	6,00	24.000,00
CETESB 2016	*	<50	3,00	26.000,00
2017	*	*	*	*
04/2018	*	*	*	*
10/2018	7,34	6,00	3,90	28.000,00

* Não analisado

Fonte: Autoria própria (2019).

Verifica-se que os parâmetros de OD, DQO e DBO resultaram em valores dentro dos limites mínimos estabelecidos na legislação, com exceção dos coliformes fecais.

Como se vê para o ano de 2016, o parâmetro de OD, resultou em 7,10 mg/L, acima do mínimo de 5,00 mg/L, portanto o nível de oxigênio dissolvido no córrego está dentro dos limites da legislação; para o parâmetro DQO que resultou em 15,00 mg/L, DBO com valor de 6,00 mg/L e coliformes fecais de 24.000 ufc/100ml. Em 2016 pela CETESB a DQO foi < 50 mg/L; a DBO de 3,00 mg /L e coliformes fecais de 26.000,00 ufc/100ml e em 2018 o OD foi 7,34; DQO 6,00 mg/L; DBO 3,90 mg/L; coliformes fecais 28.000,00 ufc/100ml.

Assim, houve bom tratamento e diluição a jusante do lançamento do esgoto tratado em termos de matéria orgânica e oxigênio dissolvido, exceto coliformes fecais que ainda podem estar presentes no esgoto tratado, demandando cloração ou outra etapa para aumento da eficiência. Os resultados de coliformes fecais da amostra à jusante talvez também possam ser explicados pelo fato de haver várias fazendas com criação de gado que defecam na beira do córrego, aumentando o valor de coliformes à jusante do lançamento do esgoto tratado.

5.3 ANÁLISE DO PERFIL DE AUTODEPURAÇÃO DE UM TRECHO DO CÓRREGO DO VEADO

Utilizando o método da Regionalização Hidrológica para encontrar a vazão do rio, pelo mesmo método utilizado pelo DAEE, disponível no site do SIGRH (<http://www.sigrh.sp.gov.br/>), inseriu-se os dados das coordenadas e área da bacia hidrográfica, conforme Tabela 13.

Tabela 13 – Dados de coordenadas, área de contribuição hidrográfica da bacia e meridiano central.

Parâmetros	Valores
Coordenadas Geográficas	21°49'22" e 51°51'09"
Coordenadas UTM Norte (Km)	7.586,53
Coordenadas UTM Este (Km)	411,89
Área da bacia hidrográfica (km ²)	50,00
Longitude do Meridiano Central	51

Fonte: Aatoria própria (2019).

Na Tabela 14 tem-se os valores da precipitação anual média, coordenadas e vazão.

Tabela 14 – Dados que resultaram na precipitação anual média em (mm) e a vazão de cheia do córrego em (m³/s).

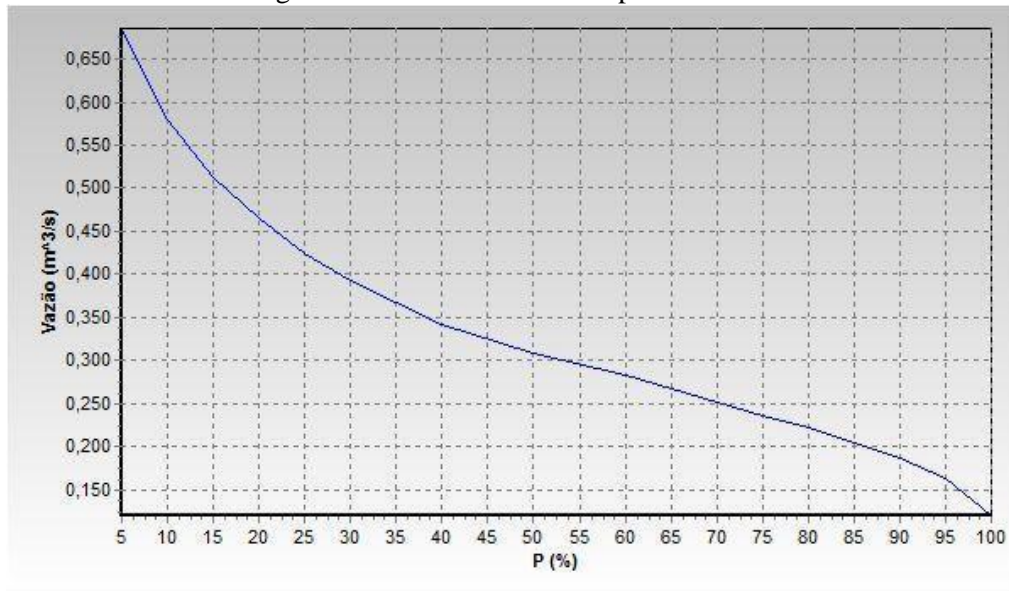
Parâmetros	Valores
Precipitação anual média (mm)	1.192,40
Região hidrológica	R
Região hidrológica (parâmetro C)	Z
Latitude	21° 49'22"
Longitude	51°51'09"
Norte (m)	7586530,00
Este (m)	411890,00
Vazão média plurianual (m ³ /s)	0,353

Fonte: Aatoria própria (2019).

Com os dados da Tabela 13 e Tabela 14, temos os resultados de precipitação anual média para o Córrego do Veado onde é realizado o lançamento do esgoto tratado, no valor de 1.192,40 mm, e a vazão média plurianual do córrego, no valor de 0,353 m³/s.

A Figura 21 apresenta a curva de Permanência. Vazão para “P (%)” de permanência (m^3/s).

Figura 21 – Curva da vazão de permanência.



Fonte: SIGRH – Regionalização Hidrológica (2018).

Segundo a nova portaria do Superintendente do DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica de 08 de fevereiro de 2019, art. 1º.: “Nos procedimentos referentes a Outorgas de Direito de Uso de Recursos Hídricos, na verificação da disponibilidade hídrica nas áreas das UGRHI 14 - Alto Paranapanema, 17 - Médio Paranapanema e 22 - Pontal do Paranapanema, o DAEE adotará como vazão de referência a variável hidrológica denominada Q95%, ou seja, a vazão específica cuja magnitude é igualada ou superada em 95% do tempo”. Parágrafo único - As magnitudes das Q95% específicas devem ser definidas por meio das equações e coeficientes disponibilizados na Regionalização Hidrológica no Estado de São Paulo, DAEE, 1988.

Conforme a Deliberação CBH-PP 193/2018 de 30/11/2018, do Comitê da Bacia Hidrográfica do Pontal do Paranapanema ficou determinado que Delibera: art. 1º: “Aprova a adoção da Q95% como vazão de referência para a emissão de outorgas de uso de recursos hídricos na UGRHI-22”.

Levando em conta a deliberação citada, e utilizando a curva de permanência da Figura 21, temos que a vazão Q95% é de $0,163 \text{ m}^3/\text{s}$, podendo ser captado ou lançado 50% desse valor, pela legislação de Outorga do DAEE. Assim, pode ser lançado, portanto ao longo desse recurso hídrico, Córrego do Veado, $0,163/2 = 0,0815 \text{ m}^3/\text{s}$.

Sabendo que a vazão de lançamento do esgoto tratado é de 0,0375 m³/s (Tabela 4), significa que está dentro do limite máximo permitido pelo DAEE.

Para cálculo da autodepuração do Córrego do Veado no ponto de lançamento do esgoto doméstico da ETE Norte usou-se os dados dos parâmetros DBO e OD da água do rio à montante do lançamento (Tabela 11) com OD = 7,23 mg/l e DBO fez a média (2,00 e 3,60 mg/l) = 2,80 mg/l.

Também foi necessário os dados da DBO do efluente tratado feito por uma média dos valores encontrados na Tabela 10, entre os valores de 51,84 mg/L (ano de 2015) e 31,00 mg/L (ano de 2016); o valor de 4,1 mg/L de DBO (ano de 2018) foi desconsiderado por ter dado um valor muito baixo, então a amostra foi considerada suspeita, portanto a DBO média encontrada foi de 41,42 mg/L e o valor de OD do esgoto tratado foi medido pela equipe técnica do DAE –Departamento de Água e Esgoto da Prefeitura Municipal de Presidente Venceslau em novembro de 2018, dando o valor de no valor de 6 mg/L.

Além disso, a vazão do rio foi utilizada a partir da vazão calculada na Tabela 14 e a vazão do esgoto tratado foi considerada a mesma vazão de projeto de 2010 do esgoto bruto (37,5 l/s) da Tabela 4.

Todos os valores foram inseridos na Tabela 15.

Tabela 15 – Valores de vazão, DBO e OD do córrego e do esgoto tratado.

Parâmetros	Córrego à montante do lançamento	Efluente Tratado
Q (m ³ /s)	0,353	0,0375
DBO (mg/L)	2,80	41,42
OD (mg/L)	7,23	6,00

Fonte: Aatoria própria (2019).

Por meio das equações 2 e 3, apresentadas na metodologia, os valores da mistura de DBO e OD estão apresentados na Tabela 16.

- Concentração de DBO₅ da mistura (DBO_{5o}) (equação 2):

$$DBO_{5o} = \frac{Q_r \cdot DBO_r + Q_e \cdot DBO_e}{Q_r + Q_e}$$

- Concentração de oxigênio da mistura (C_o) (equação 3):

$$C_o = \frac{Q_r \cdot OD_r + Q_e \cdot OD_e}{Q_r + Q_e}$$

Tabela 16 – Valores de DBO e OD da mistura córrego/esgoto tratado.

Parâmetros	Mistura (córrego/esgoto tratado)
DBO ₅₀ (mg/L)	6,5
Co (mg/L)	7,1

Fonte: Autoria própria (2019).

O valor de DBO da mistura foi de 6,5 mg/L e no valor de OD da mistura foi de 7,1 mg/L.

Para o cálculo da autodepuração, foram levados em consideração os valores retirados do projeto da ETE Norte, apresentados para pleito da obra, conforme consta na Tabela 17.

Assim, esses dados foram utilizados para determinar a concentração de saturação de oxigênio (C_s), que depende da temperatura e da altitude conforme a Tabela 1. Adotou-se, neste estudo, a temperatura média em Presidente Venceslau de 22,1° C como sendo a temperatura da água, pois não se tinha esses valores.

Tabela 17 – Valores utilizados para o cálculo de autodepuração.

Parâmetros	Valores
Altitude (m)	422
Classe do córrego	classe 2
Temperatura média (°C)	22,1
Profundidade média do rio (m)	0,30
Velocidade média do rio (m/s)	0,35
Distância de percurso até chegar a confluência com o rio principal (m)	1200
OD (mg/L) em córrego classe 2 mínimo permitido Conama 357/2005	5,0

Fonte: Autoria própria (2019).

A ETE Norte está localizada no córrego do Veado após 140 metros da confluência com o córrego da Mangueira e 1.200 metros antes do encontro com o córrego da Lagoa Seca (córrego principal).

A partir dessas informações, com as equações de 4 a 13 anteriormente apresentadas na metodologia foi possível calcular a concentração de oxigênio dissolvido em função da distância e do tempo, cujos valores estão apresentados nas Tabelas 18 e 19 e na Figura 22.

Tabela 18 – Valores calculados para as variáveis que determinaram a autodepuração.

Variáveis determinadas	Valores
K_1 (dia) ⁻¹	0,18
K_1 corrigido (dia) ⁻¹	0,20
K_2 (dia) ⁻¹	3,08
K_2 corrigido (dia) ⁻¹	3,24
Tempo de percurso (d)	0,04
Concentração de saturação de oxigênio (C_s) (mg/L)	8,38
Déficit de oxigênio (D_o) (mg/L)	1,3
K_T (constante de transf. da DBO_5 a DBO_u)	1,59
DBO última (L_o) (mg/L)	10
Tempo crítico (T_c) (dias)	*
Distância crítica (d_c) (km)	*
Déficit crítico de Oxigênio Dissolvido (D_c) (mg/L)	*
Concentração crítica de Oxigênio Dissolvido (OD_c) (mg/L)	*

* Não determinado

Fonte: Autoria própria (2019).

Como o valor da DBO última (L_o) (mg/L) foi muito baixo, 10 mg/l, não foi possível calcular os valores de tempo crítico, distância crítica, déficit crítico de oxigênio dissolvido (d_c) e concentração crítica de oxigênio dissolvido, pois o cálculo do tempo crítico deu valor negativo em função do baixo valor da DBO última e como os demais dependiam do tempo, não foi possível calcular.

Tabela 19 – Resultados de concentração de oxigênio dissolvido em função do tempo e da distância.

d (km)	tempo (horas)	Conc. OD _t (mg/L)
0,0	0,00	7,1
0,1	0,00	7,1
0,2	0,01	7,1
0,3	0,01	7,1
0,4	0,01	7,1
0,5	0,02	7,1
0,6	0,02	7,2
0,7	0,02	7,2
0,8	0,03	7,2
0,9	0,03	7,2
1,0	0,03	7,2
1,1	0,0	7,2
1,2	0,0	7,2

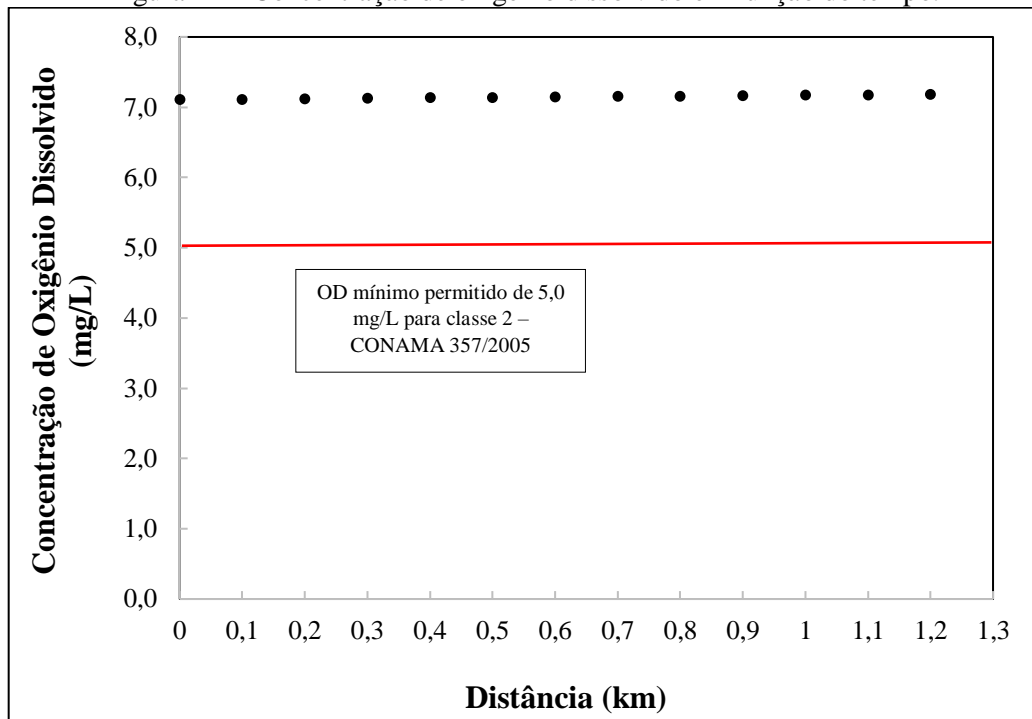
Fonte: Autoria própria (2019).

Nota-se com os resultados da Tabela 19 que ao longo da distância e do tempo os valores de OD se mantiveram constantes, em torno de 7 mg/L, isso demonstra a eficiência do tratamento de esgoto doméstico, da estação ETE Norte de Presidente Venceslau. Assim, o valor de OD esteve acima de 5,0 mg/l, exigência legal, ao longo dos 1,2 km de distância até atingir o rio principal.

Von Sperling (2005) destaca que o quando o rio recebe elevada carga orgânica o perfil de autodepuração é dividido em quatro zonas. Na primeira, de degradação, à jusante do ponto de lançamento, há diminuição inicial de OD; na decomposição ativa, o OD atinge o valor mínimo; na zona de recuperação, se inicia a etapa de restabelecimento do equilíbrio anterior à poluição, com aumento de OD; e na zona de águas limpas, há elevada concentração de oxigênio dissolvido.

Conforme a Figura 22, este perfil não foi observado, uma vez que a DBO lançada no corpo d'água tinha valor muito baixo, em função da capacidade de tratamento do esgoto doméstico da ETE, assim, o meio não passou por perturbação para após se reestabelecer o equilíbrio.

Figura 22 – Concentração de oxigênio dissolvido em função do tempo.



Fonte: Autoria própria (2019).

A Figura 22 ilustra que o OD se encontra constante em torno de 7 mg/L ao longo da distância de 1,2 km de distância até atingir o outro córrego, Córrego da Lagoa Seca, isto demonstra que o tratamento tem sido bastante eficiente, pois quando o esgoto tratado foi lançado no corpo d'água, o mesmo não exerceu influência negativa, pois a DBO lançada no curso hídrico não foi baixa, não afetando de maneira “significativa” as características iniciais do rio, na fase de degradação da matéria orgânica.

Cabe destacar que o modelo de Streeter e Phelps leva em consideração alguns parâmetros, podendo existir nitrogênio amoniacal ou outras variáveis que o modelo não analisa e que podem causar perturbação ambiental.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Entre a utilização dos corpos hídricos, o lançamento e a diluição de efluentes demandam considerável atenção e monitoramento adequado por parte do Poder Público por intermédio de seus órgãos gestores, realizando o devido acompanhamento dos efluentes e da repercussão na qualidade da água do corpo receptor.

A capacidade de diluição de um corpo receptor deve levar em consideração as condições preliminares da qualidade da água e do regime hidrológico, que impede o lançamento de cargas poluidoras que extrapolam a capacidade de autodepuração.

O impacto provocado pelo lançamento de efluentes originados de estações de tratamento em corpos d'água é razão de considerável preocupação para boa parte das nações mundiais.

De tal modo, o estabelecimento de políticas e regras ambientais para delinear critérios ambientais de descarga e nível de tratamento devem assegurar que os impactos ambientais da disposição de tais efluentes não prejudiquem a qualidade dos recursos hídricos.

Contudo, conclui-se que a ETE estudada nesta dissertação vem sendo eficiente por estar promovendo um reequilíbrio, anterior a implantação da ETE. Com isso constata-se que a tecnologia da estação de tratamento de esgoto ETE Norte, de Presidente Venceslau, é de boa qualidade, apresentando uma eficiência de 84% de remoção de DBO um perfil de autodepuração com oxigênio dissolvido praticamente constante e acima de 7 mg/l ao longo dos 1,2 km até chegar ao rio principal, mostrando como a implantação da Estação de Tratamento de Esgoto contribuiu para o equilíbrio do meio ambiente, que antes recebia o esgoto *in natura*.

Mas sempre existem pontos a melhorar, os quais foram observados ao longo do estudo, tais como, a higiene do local pode melhorar, equipe de trabalho com uniforme da ETE, e não havendo falta de materiais como cloro para realizar a desinfecção do efluente, no tanque de contato, última etapa do tratamento.

Conforme visto na ETE *Sugar Creek* desinfecção de esgoto doméstico por radiação UV pode ser eficiente na destruição de microrganismos podendo ser usada no Brasil para aumentar a eficiência.

Além disso, deveriam ser monitorados mais parâmetros da ETE (entrada e saída de esgoto) e do córrego (montante e jusante) para auxiliar na fiscalização e gestão dos recursos hídricos na bacia hidrográfica, além de auxiliar no controle efetivo, por meio de monitoramento e ajustes do sistema de tratamento.

7 REFERÊNCIAS

ABERS, R.; JORGE, K. D. Descentralização da gestão da água: por que os comitês de bacia estão sendo criados? **Ambiente & Sociedade**, v. VIII, n. 2, p. 1-26, 2005.

ANDRADE, L. N. Autodepuração dos corpos d'água. **Revista da Biologia**, v. 5, p. 16-19, 2010.

BIOLCHINI, C. L. **Enteroparasitoses na infância e na adolescência**. Revista Adolescência & Saúde, v. 2, n.1, p. 29-32, 2005.

BORJA, P. C. Política Pública de Saneamento Básico: uma análise da recente experiência brasileira. **Saúde e Sociedade**, v. 23, n. 2, p. 432-447, 2014.

BORJA, P. C. **Panorama do saneamento básico no Brasil**: análise situacional dos programas e ações federais. Brasília, DF: Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, 2011. v. III. (Versão preliminar).

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Diário Oficial da União, 5 de outubro de 1998.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. **Lei nº. 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, 1997. 72p.

BRASIL. **Lei nº.11.445, de 5 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. Brasília: Diário Oficial da União, 2007.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº.357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação de corpos de água e diretrizes ambientais sobre o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, 2005.

CASARINI, D. C. P. **Classificação e enquadramento das águas subterrâneas**. Palestra AESAS 2007. Divisão de Qualidade de Solos, Águas Subterrâneas e Vegetação. CETESB. Disponível em: <http://www.acquacon.com.br/realizados/2007/aesasvseminario/palestras/Palestra%201.6_Dorothy%20Casarini.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2019.

CBH-PP. Comitê da Bacia Hidrográfica do Pontal do Paranapanema. Plano de Bacia Hidrográfica do Pontal do Paranapanema (UGRHI-22) 2016/2027 - Relatório I – Volume I. Presidente Prudente. 2016. Disponível em:

file:///D:/Downloads/Relat%C3%B3rio_I_PBH_CBH-PP_Volume_I.pdf Acesso em: 19 set. 2019.

CHEIS, D. Novas tecnologias no tratamento de água e efluentes. **Revista TAE**, 2014. Disponível em: <<http://www.revistatae.com.br/8001-noticias>>. Acesso em: 26 jun. 2019.

CORRÊA, T. S., ARAÚJO, R. R. Estudo de Autodepuração: O caso do Córrego do Limoeiro, Presidente Prudente - SP. **Colloquium Exactarum**, v. 7, n. 3, p.48-55, 2015.

CUNHA, C. L. N.; FERREIRA, A. P. Modelagem matemática para avaliação dos efeitos de despejos orgânicos nas condições sanitárias de águas ambientais. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 22, n. 8, p. 1715-1725, 2006.

DE PAULA, L. M. **Avaliação da qualidade da água e autodepuração do rio Jordão, Araguari, MG**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Uberlândia. Faculdade de Engenharia Civil. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Uberlândia, MG, 2011.

DÍAZ, C. C. H. **Estudo da Possibilidade de uso de lodo de esgoto e lama vermelha como matérias-primas cerâmicas**. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica, São Paulo, SP, 2013, 197 p.

ERCOLE, L. A. dos S. **Sistema modular de gestão de águas residuárias domiciliares: uma opção mais sustentável para a gestão de resíduos líquidos**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Porto Alegre, RS, 2003, 192 p.

FERRO, G.; LENTINI, E. J.; MERCADIER, A. C.; ROMERO, C. A. Efficiency in Brazil's water and sanitation sector and its relationship with regional provision, property and the independence of operators. **Utilities Policy**, v. 28, p. 42-51, 2014.

FUNASA. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento**. 3ª. Edição revisada. Brasília: FUNASA, 2004.

GARCIA, M. S. D.; FERREIRA, M. de P. **Saneamento básico: meio ambiente e dignidade humana**. Dignidade Re-Vista, [S.l.], v. 2, n. 3, p. 1-12, 2017.

GERBER, L. M. D. **Outorga do direito de uso da água**. Publicado em 2015. Disponível em:

<<http://www.comiteibicui.com.br/artigos/Outorga%20de%20Direito%20e%20Uso%20da%20Agua.pdf>>. Acesso em: 20 jul. 2019.

GOMES, J. de L.; BARBIERI, J. C. Gerenciamento de recursos hídricos no Brasil e no Estado de São Paulo: um novo modelo de política pública. **Cadernos EBAPE.BR**, v. II, n. 3, p. 1-21, 2004.

GRANZIERA, M. L. M. **Direito de Águas: Disciplina Jurídica das Águas Doces**. São Paulo: Atlas, 2001.

GRIGG, N. S. Delph Carpenter, Father of Colorado River Treaties: Text of Governor Ralph L. Carr's 1943 **Salute to Delph Carpenter**. Fort Collins: Colorado Water Resources Research Institute, 1991.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico 2010. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=P15&uf=00>>. Acesso em: 20 jun. 2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2019.

LEONETI, A. B.; PRADO, E. L. do; OLIVEIRA, S. V. W. B. Saneamento básico no Brasil: considerações sobre investimentos e sustentabilidade para o século XXI. **Revista de Administração Pública**, v. 45, n. 2, p. 331-348, 2011.

MESQUITA, L. F. G. de. **Gestão de recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio Preto: Atores, Ações e Conflitos**. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, Centro de Desenvolvimento Sustentável, Brasília, DF, 2017, 182 p.

METCALF; EDDY, Inc. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse**. McGraw-Hill International Editions, 3rd ed., New York, 1991.

MIRANDA, G. C.; DATOLLI, V. C.; LIMA, A. D. Enteroparasitos e condições socioeconômicas e sanitárias em uma comunidade quilombola do semiárido baiano. **Revista de Patologia Tropical, Goiânia**, v. 39 n. 1, p. 48-55, 2010.

MORAES, R. P. de. **Definição de um sistema de gestão de resíduos sólidos domésticos com compostagem para Londrina-PR**. Tese de Doutorado. Universidade Metodista de Piracicaba. Faculdade de Engenharia, Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Santa Bárbara D'oeste – SP, 2012.

MUGA, H. E.; MIHELICIC, J. R.; REENTS, N. W.; MORALES, S.; GEMIO, G.; BALLARD, M.; FUCHS, V. J.; HANSON, C. M.; JOHNSON, E. M.; HOYT, A. M. **Treatment Performance of Wastewater Lagoons in South Yungas Province of Bolivia**. In: World Environmental and Water Resources Congress 2009. Disponível em: <<https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/41036%28342%29586>>. Acesso em: 20 jun. 2019.

PALMA-SILVA, G. M.; TAUKE-TORNISIELO, S.M.; PIÃO, A. C. Capacidade de autodepuração de um trecho do rio Corumbataí, SP, Brasil. **Holos Environment**, v.7, n.2, p.139-153, 2007.

PEREIRA, T. S. T.; HELLER, L. Planos municipais de saneamento básico: avaliação de 18 casos brasileiros. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, n. 3, p. 395-404, 2015.

PHILIPPI JÚNIOR A.; MALHEIROS T. F. **Saneamento e saúde pública: integrando homem e ambiente**. In: Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável. Barueri: Manole/USP; 2005.

PLANSAB, Plano Nacional de Saneamento Básico: **Mais Saúde com Qualidade de Vida e Cidadania**. Ministério das Cidades - Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília. 2013. Disponível em:

<http://www.urbanismo.mppr.mp.br/arquivos/File/plansab_texto_aprovado.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2019.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. P. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008.

QUADROS, J. R. de. **Os desafios na gestão dos recursos hídricos e os comitês de bacias hidrográficas no Estado do Amazonas**. Dissertação de Mestrado. Universidade do Estado do Amazonas. Escola Superior de Ciências Sociais. Programa de Pós-graduação em Direito Ambiental, Manaus, AM, 2015, 257 p.

REIS, L. V. de S. **A gestão das águas no Estado de São Paulo: uma avaliação de seus instrumentos e práticas**. Universidade Estadual de Campinas – Faculdade de Engenharia Mecânica / CETESB, 1999. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/escolasuperior/wp-content/uploads/sites/30/2016/06/Lucia_Vidor_de_Souza_Reis.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2019.

SÃO PAULO. **Decreto nº. 10.755, de 22 de novembro de 1977**. Dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água receptores na classificação prevista no Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976, e dá providências correlatas. São Paulo, 1977.

SÃO PAULO. **Lei nº. 7.663, de 30 de dezembro de 1991**, do estado de São Paulo. Estabelece as normas de orientação à Política estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos. São Paulo, 1991.

SÃO PAULO. **Decreto nº. 41.258, de 31 de outubro de 1996**. Aprova o Regulamento da outorga de direitos de uso dos recursos hídricos, de que tratam os artigos 9º a 13 da Lei 7.663, de 30/12/1991. São Paulo, 1996.

SÃO PAULO. **Lei nº. 12.183, de 29 de dezembro de 2005**. (Atualizada até a Lei nº 15.790, de 16 de abril de 2015). Dispõe sobre a cobrança pela utilização dos recursos hídricos do domínio do Estado de São Paulo, os procedimentos para fixação dos seus limites, condicionantes e valores. São Paulo, 2005.

SÃO PAULO. **Decreto nº. 52.697, de 07 de fevereiro de 2008**. Publicado em 2008. Institui o “Programa Água Limpa”, mediante a celebração de convênios com os Municípios do Estado de São Paulo que especifica, visando à execução de projetos e obras destinados ao afastamento e tratamento de esgoto sanitário, bem como à recuperação da qualidade dos recursos hídricos. São Paulo, 2008.

SCALIZE, P. S.; LEITE, W. C. de A.; RODRIGUES, J. M.; VENUZO, S. B.; CORREA, M. de S.; LOMBARDI, R.; OLIVEIRA, S. C. de; SANTOS, M. F. dos. **Avaliação da autodepuração do Ribeirão das Cruzes através da depressão do oxigênio dissolvido após receber efluente da ETE-Araraquara**. In: VIII Exposição de Experiências Municipais em Saneamento, 2004, Caxias do Sul - RS. 34a. Assembleia Nacional da ASSEMAE, 2004. p. 1-8.

SILVA, L. X. da. **O desafio da gestão das águas: a busca de um modelo econômico de desenvolvimento sustentável para o Brasil**. In: XLIV CONGRESSO DA SOBER: “Questões

Agrárias, Educação no Campo e Desenvolvimento”, Fortaleza, CE, 23 a 27 de julho de 2006, p. 1-19.

SILVA, S. M. C. da. **Planos de Bacia na prática: uma análise do planejamento dos recursos hídricos no Estado do Rio de Janeiro.** Dissertação de Mestrado. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Centro de Tecnologia e Ciências. Programa de Pós-graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Rio de Janeiro, RJ, 2018, 130 p.

SNIS. **SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES EM SANEAMENTO.** Disponível em: <<https://corsapdfgo.eco.br/2019/04/04/coleta-de-dados-do-snis-sistema-nacional-de-informacao-sobre-saneamento/>>. Acesso em 10 ago. 2019.

SOARES, S. R. A.; BERNARDES, R. S.; CORDEIRO NETTO, O. M. Relações entre saneamento, saúde pública e meio ambiente: elementos para formulação de um modelo de planejamento em saneamento. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 18, n. 6, p. 1713-1724, 2002.

SOUZA, C. M. N.; FREITAS, C. M.; MORAES, L. R. S. Discursos sobre a relação saneamento-saúde-ambiente na legislação: uma análise de conceitos e diretrizes. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 12, n. 4, p. 371-379, 2007.

TINÔCO, J. D. **Desinfecção por radiação ultravioleta: estudo do desempenho do processo e avaliação econômica.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos – SP. 2011.

TONETTI, A. L.; CORAUCCI FILHO, B.; BERTONCINI, E. I.; OLIVEIRA, R. A.; STEFANUTTI, R. Avaliação de um sistema simplificado de tratamento de esgotos visando a utilização em áreas rurais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.2, p.227-234, 2010.

WHO. WORLD HEALTH ORGANIZATION. Disponível em: <http://www.who.int/water_sanitation_health/hygie>. Acesso em: 01 ago. 2019.

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

VALE, M. B. do. **Avaliação da eficiência da remoção de matéria orgânica e microbiológica de três sistemas de lagoas de estabilização em série na grande Natal-RN.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária, Natal, RN, 2006, 94 p.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3 ed. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 2005, v. 1. 452 p.

YASSUDA, E. R.; NOGAMI, P. S. **Consumo da água.** In: OLIVEIRA, W. E.; GAGLIANONE, S.; YASSUDA, E. R.; NOGAMI, P. S.; PEREIRA, B. E. B.; MARTINS, J. A. Técnica de abastecimento e tratamento de água. Vol. 1. Abastecimento de água. 2 ed. São Paulo: CETESB, págs.:107-134, 1976.

ZENG, G.; GIANG, R.; HUANG, G.; XU, M.; LI, J.
Optimization of wastewater treatment alternatives selection by hierarchy grey relational analysis.
Journal of Environmental Management, v. 82, n. 2, p. 250-259, 2007.