

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Emerson Khin Pereira Nakazawa

**ESTUDO DE ADOÇÃO DA ETE DESCENTRALIZADA
DE PORTO CUBATÃO (CANANÉIA-SP)**

SÃO CARLOS -SP
2024

Emerson Khin Pereira Nakazawa

**ESTUDO DE ADOÇÃO DA ETE DESCENTRALIZADA DE PORTO CUBATÃO
(CANANÉIA-SP)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a conclusão da graduação em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Erich Kellner.

São Carlos-SP
2024

ESTUDO DE ADOÇÃO DA ETE DESCENTRALIZADA DE PORTO CUBATÃO (CANANÉIA-SP)

RESUMO

Com a promulgação da Lei Federal Nº 14.026/2020, que altera o Marco Legal do Saneamento Básico, e a nova meta de universalização do sistema de saneamento básico, populações cada vez mais distantes dos centros urbanos, devem ser contempladas com a coleta e tratamento de esgoto, porém a inclusão dessa parcela da população introduz novos desafios, que por estarem localizadas longe das redes existentes, pode não ser viável interligar esses pontos de coleta. As ETEs descentralizadas são uma das soluções empregadas, pois possuem um menor custo de implantação, menor área de ocupação nessas áreas mais isoladas, e alta eficiência de remoção dos parâmetros de qualidade, como é possível ver através dos dados disponibilizados pela concessionária na região estudada do Vale do Ribeira.

Palavras-chave: ETEs descentralizadas, Vale do Ribeira, Marco Legal do Saneamento Básico.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Sistema de tratamento de esgoto convencional | 6 |
| Figura 2 - Esquema Reator UASB | 9 |
| Figura 3 - Local de Implantação da ETE | 13 |
| Figura 4 - Situação da ETE em relação à cidade | 13 |
| Figura 5 - Tratamento Preliminar | 15 |
| Figura 6 - Tratamento Primário | 15 |
| Figura 7 - Tratamento Secundário - FAS | 16 |
| Figura 8 - Tratamento Secundário – Decantador lamelar secundário | 16 |
| Figura 9 - Pós tratamento – Desinfecção com cloro | 17 |
| Figura 10 - Pós tratamento – Dosador de Cloro | 17 |
| Figura 11 - Painel de automação | 18 |
| Gráfico 1 – Parâmetros de qualidade | 21 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Custos de operação da ETE descentralizada (UASB+FBP) | 19 |
| Tabela 2 - Custos de operação da ETE de Cananéia | 20 |
| Tabela 3 - Parâmetros de qualidade da ETE descentralizada | 20 |
| Tabela 4 - Comparação com valores da literatura | 22 |
| Tabela 5 - Parâmetros de qualidade da ETE de Cananéia | 22 |

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|------------------------------|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 | JUSTIFICATIVA | 2 |
| 1.2 | OBJETIVO | 2 |
| 2 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 3 |
| 2.1 | ESGOTO SANITÁRIO | 3 |
| 2.2 | PARÂMETROS DE QUALIDADE | 3 |
| 2.2.1 | Parâmetros Físicos | 3 |
| 2.2.2 | Parâmetros Químicos | 4 |
| 2.2.3 | Parâmetros Biológicos | 5 |
| 2.3 | ETAPAS DO TRATAMENTO | 5 |
| 2.2.1 | Tratamento Preliminar | 6 |
| 2.2.1 | Parâmetros Primário | 7 |
| 2.2.1 | Parâmetros Secundário | 7 |
| 2.4 | REATORES UASB | 8 |
| 2.5 | FILTRO AERADO SUBMERSO (FAS) | 9 |
| 2.6 | MARCO LEGAL DO SANEAMENTO | 10 |
| 2.7 | ASPECTOS LEGAIS | 11 |
| 3 | METODOLOGIA | 12 |
| 4 | ESTUDO DE CASO | 12 |
| 4.1 | ESTUDO DE IMPLANTAÇÃO | 12 |
| 4.2 | COMPARAÇÃO DAS ANÁLISES | 20 |
| 5 | CONCLUSÃO | 23 |
| 6 | REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 24 |

1 INTRODUÇÃO

O novo Marco Legal do Saneamento Básico tem como meta, atender 99% da população do Brasil, com água tratada e 90% de coleta e tratamento de esgoto. Num país tão extenso como o Brasil, serão necessárias várias obras de infraestrutura país afora, demandando de grandes investimentos públicos e privados, para que a meta seja atendida.

Uma das soluções adotadas para a parte do esgoto residencial e comercial, é a utilização de ETEs descentralizadas, que podem estar isoladas da rede principal, atendendo uma parcela da população total de um município. Este tipo de sistema de tratamento, apresenta menores custos de implementação, por isso é utilizada em áreas afastadas dos centros urbanos, onde o custo de interligação com a rede principal é muito alto. Se a coleta do esgoto fosse feita de maneira convencional, devido à distância, seria necessário a construção de uma rede extensa e várias estações elevatórias de esgotos, para que a rede fosse interligada à rede principal do município, e a vazão resultante seria baixa para o porte do investimento.

A região do Vale do Ribeira, apresenta baixos níveis de desenvolvimento econômico, baixa urbanização, densidade populacional, e conseqüentemente baixa cobertura de esgotamento sanitário. Por isso estão sendo construídas várias ETEs descentralizadas, em redes isoladas, nas cidades da região, tendo como objetivo alcançar a meta estipulada pelo governo. A região exemplifica bem as dificuldades que devem ser superadas na ampliação da cobertura de coleta e tratamento de esgoto.

A concessionária estudada é a única empresa responsável pelo saneamento básico de toda a região, que pelos motivos citados acima, acaba sendo uma área de pouco interesse do setor privado ou de serviços autônomos geridos pelos municípios, porque dado a densidade populacional e poder aquisitivo, onde uma quantidade significativa das famílias pagam a Tarifa Residencial Social, as unidades são geralmente deficitárias do ponto de vista econômico, porém de grande importância ecológica, afinal é região com maior área contínua de Mata Atlântica preservada do país, sendo responsável por 21% da extensão total deste bioma.

A ETE descentralizada que será abordada neste trabalho, é a ETE de Porto Cubatão, localizada no município de Cananéia-SP, no litoral, e portanto apresenta dificuldades quanto ao transporte do esgoto, devido a pouca variação de altura entre

os pontos de coleta e tratamento, e nível d'água elevado.

1.1 JUSTIFICATIVA

Com apenas 72% de população nas áreas urbanas, 58% da população atendida pela coleta de esgoto e 74% de água tratada, indicadores abaixo da média do estado de São Paulo, a região necessita de grandes investimentos na parte de saneamento básico. A partir dos dados apresentados, vemos que a região é de grande interesse para atingir as metas do Marco Legal.

Por ser uma região de grande cobertura vegetal, principalmente do bioma da Mata Atlântica, faz-se necessário o estudo da eficiência das ETEs descentralizadas, quanto à remoção dos parâmetros de qualidade do efluente, pois é uma área de grande interesse ecológico, que conta com a presença de vários mananciais.

1.2 OBJETIVO

Analisar o sistema adotado de ETE descentralizada, quanto a sua eficiência, custos de operação, implementação e comparar com os sistemas convencionais, estudando sua viabilidade para o cumprimento do Marco Legal do Saneamento.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ESGOTO SANITÁRIO

A NBR 9648/86 define o termo esgoto sanitário como “despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária”(ABNT, 1986), o esgoto que será tratado neste trabalho, é o esgoto doméstico, oriundo principalmente de residências, edificações comerciais e institucionais, são resultados do uso para higiene e as necessidades fisiológicas humanas.

É composto por 99% água e 1%, de sólidos orgânicos e inorgânicos, nutrientes e microrganismos, que podem ser patogênicos ou não, por isso o tratamento de esgoto tem como foco essa pequena fração, e os parâmetros para a medição da eficiência do tratamento mais utilizados são: sólidos, indicadores de matéria orgânica como Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO) e indicadores de contaminação fecal aferidos, por exemplo, pela presença de *Escherichia Coli*.

Os sólidos podem ser classificados de acordo com seu tamanho, podendo estar em solução ou dissolvidos; quanto às características químicas, voláteis e fixos. Sólidos em solução são capazes de passar por um filtro de tamanho especificado, enquanto os de maiores dimensões, retidas pelo filtro são classificados como sólidos em suspensão. Quanto a característica química, ao submeter o sólido à uma temperatura elevada de 550°C a fração orgânica é volatilizada, restando somente a fração inorgânica, portanto os sólidos voláteis representam uma estimativa para a fração orgânica, enquanto os fixos, representam a parcela inorgânica (VON SPERLING, 1996).

Segundo VON SPERLING (1996), os parâmetros de qualidade da água podem ser classificados como físicos, químicos e biológicos.

2.2 PARÂMETROS DE QUALIDADE

2.2.1 Parâmetros Físicos

- Cor
- Turbidez
- Sabor e Odor

- Temperatura

A cor e turbidez são os parâmetros físicos mais utilizados, pois representam respectivamente de forma indireta a presença de sólidos dissolvidos e sólidos em suspensão presentes na água.

2.2.2 Parâmetros Químicos

- pH
- Alcalinidade
- Acidez
- Dureza
- Ferro e Manganês
- Cloretos
- Nitrogênio
- Fósforo
- Oxigênio dissolvido
- Matéria orgânica
- Micropoluentes inorgânicos
- Micropoluentes orgânicos

Os parâmetros de grande importância na qualidade da água são o nitrogênio e o fósforo, pois eles são responsáveis pela proliferação de algas, causando a eutrofização dos corpos d'água, diminuindo a quantidade de oxigênio dissolvido na água, podendo levar a um colapso do ecossistema aquático. Mas ao mesmo tempo que podem ser nocivos se despejados de maneira incorreta nos corpos receptores, estes dois nutrientes são essenciais para o crescimento dos microrganismos responsáveis pela estabilização e tratamento da matéria orgânica dentro dos sistemas de tratamento.

Outro importante parâmetro é a matéria orgânica, que pode ser aferida por dois indicadores, DBO e DQO. Eles determinam o consumo de oxigênio necessário para a decomposição da matéria orgânica, no caso da DBO, é demandada pelos microrganismos presentes na água que irão decompor a matéria orgânica, enquanto a DQO refere-se ao uso de produtos químicos para o mesmo processo. O indicador mais utilizado nas estações de tratamento é o DBO.

2.2.3 Parâmetros Biológicos

Segundo VON SPERLING (1996), “Os microrganismos desempenham diversas funções de fundamental importância, principalmente as relacionadas com a transformação da matéria dentro dos ciclos biogeoquímicos”, portanto eles são essenciais para o tratamento do esgoto sanitário, pois são responsáveis pela decomposição da matéria orgânica presente na água. Um outro aspecto importante da parte biológica, é a sua capacidade de transmitir doenças, essa potencialidade pode ser medida através da presença de organismos causadores de doenças ou indiretamente através de indicadores de contaminação fecal, como a *E. Coli*, as doenças podem ser causadas pela ingestão da água contaminada. Os organismos presentes na água podem infectar a população através da ingestão de água, contato direto com o corpo, ou apenas utilizarem a água no seu ciclo de vida e reprodução.

2.3 ETAPAS DO TRATAMENTO

O esgoto, após coletado e transportado, é encaminhado para o tratamento nas ETEs, para que após o processo final, o efluente seja lançado no corpo hídrico, atendendo aos padrões de lançamento, que depende das classificações do corpo receptor, especificadas pelas legislações, podendo ser a nível federal, ou estadual desde que seja mais exigente que a legislação federal.

De acordo com a Resolução CONAMA 357/2005, as águas do território nacional são divididas em águas doces, salobras e salinas, de acordo com o nível de salinidade, sendo:

- águas doces: águas com salinidade igual ou inferior a 0,5 ‰;
- águas salobras: águas com salinidade superior a 0,5 ‰ e inferior a 30 ‰;
- águas salinas: águas com salinidade igual ou superior a 30 ‰;

Essa mesma resolução, determina também as classes dos corpos hídricos, de acordo com o seu uso, no que se trata de águas doces, temos 5 classes, sendo a classe especial a mais nobre e exigente como consumo humano e preservação ambiental, até a classe 4 sendo a menos exigente. A qualidade dos efluentes é governada pela Resolução CONAMA 430/2011, onde os parâmetros são especificados.

O tratamento do esgoto sanitário pode ser dividido em quatro etapas: preliminar, primário, secundário e terciário.

2.3.1 Tratamento Preliminar

O objetivo dessa etapa é a remoção dos sólidos grosseiros e areia, e devem ser removidos previamente para não prejudicar as etapas seguintes, proteger as bombas e tubulações, e também os corpos receptores. Os mecanismos de remoção são de natureza física, como uso de grade de barras ou peneiramento, e sedimentação, no final da etapa, inclui-se também um medidor de vazão, através do uso da calha Parshall e medição do nível do fluido.

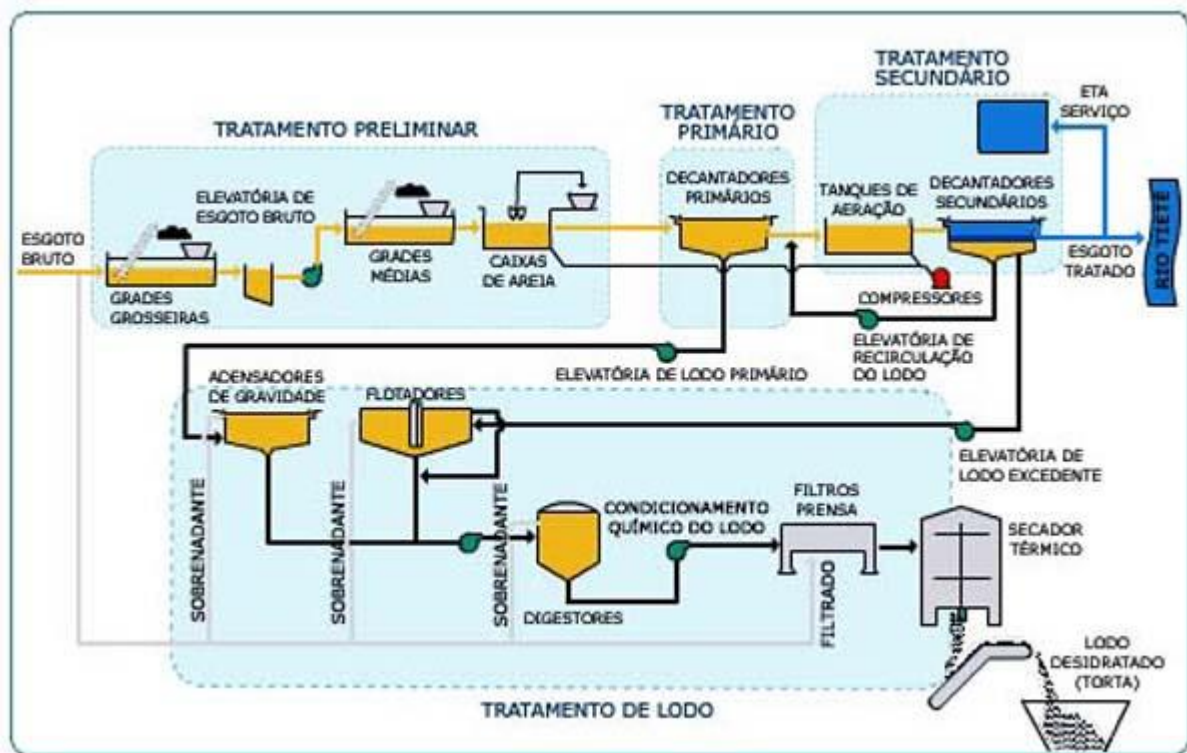


Figura 1 - Sistema de tratamento de esgoto convencional, contendo o tratamento preliminar primário, secundário e terciário. (Fonte: SABESP 2013).

2.3.2 Tratamento Primário

O esgoto, após passar pelo tratamento preliminar, ainda contém sólidos em suspensão de menor tamanho que podem ser removidos parcialmente em unidades de sedimentação, segundo VON SPERLING (1996), uma parte significativa destes sólidos é matéria orgânica em suspensão, portanto sua remoção nessa etapa, reduz a carga de DBO necessária para o tratamento secundário, onde essa remoção seria mais custosa.

Nos tanques de decantação, o esgoto flui vagarosamente, fazendo com que os sólidos em suspensão, que possuem densidade maior do que a do líquido, sedimentem gradualmente no fundo. Este sólido é chamado de lodo primário e conforme a figura 1, é retirado para tratamento. Essa baixa vazão permite também a retirada de materiais menos densos, que ficam na superfície, como óleos e graxas.

Segundo VON SPERLING (1996), as fossas sépticas também são uma forma de tratamento primário, devido a sua baixa vazão, onde os sólidos sedimentam no fundo por tempo suficiente para sua estabilização em condições anaeróbias

2.3.3 Tratamento Secundário

O objetivo do tratamento secundário é a remoção de matéria orgânica, que pode estar dissolvida ou em suspensão cuja maior parte é removida no tratamento primário, mas ainda persiste no sistema, devido a remoção da matéria orgânica, é onde ocorre a maior redução da carga de DBO.

É uma etapa biológica, que visa acelerar os mecanismos de degradação que ocorrem na natureza, porém em intervalos de tempo muito menores. Essa ação é realizada por uma grande variedade de microrganismos, como fungos e bactérias. A decomposição é feita através de microrganismos aeróbios, anaeróbios e facultativos que conseguem operar das duas formas. Nessa etapa ocorre o contato da matéria orgânica com os microrganismos, que se alimentam e convertem essa matéria orgânica em diferentes produtos dependendo das condições, em condições aeróbias produzem gás carbônico (CO₂) e água, ou metano em condições anaeróbias. Por se tratar de seres vivos, é uma fase mais delicada no sistema, pois é necessário controlar parâmetros como temperatura, pH, oxigênio dissolvido, nitrogênio e potássio, entre outros, para que os microrganismos possam se reproduzir e se alimentarem da matéria orgânica.

As principais tecnologias empregadas nesta etapa, são o lodo ativado, filtros biológicos e lagoas de estabilização que podem ser anaeróbias ou facultativas e são muito utilizados devido ao seu baixo custo de operação, porém possuem eficiência bem inferior ao lodo ativado e ao reator anaeróbio de manta de lodo ou Reatores Anaeróbios de fluxo ascendente (RAFA ou UASB) que serão discutidos adiante.

2.4 REATORES UASB

Para melhor compreender o objeto de estudo, é necessário entender o funcionamento dos reatores UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), que possui outras denominações como Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente em Manta de Lodo (RAFA). O reator UASB possui características favoráveis típicas de sistemas anaeróbios, como baixo custo, simplicidade operacional, baixa produção de sólidos, menor requisito de área. Segundo Jordão e Pessôa (2011), o reator UASB possui as seguintes partes principais:

- Câmara de digestão: inferior, onde se localiza a manta de lodo, é aonde o esgoto entra no reator, e percorre em fluxo ascendente, parte da matéria orgânica permanece na zona de lodo, iniciando o processo de digestão anaeróbia.
- Separador de fases: dispositivo que caracteriza uma zona de sedimentação, e uma câmara de coleta de gases, separando a fase sólida da líquida e gasosa, funcionando como um defletor de gases.
- Zona de sedimentação: o esgoto, pela abertura da parte inferior, alcança os vertedores da superfície, com baixa velocidade, permitindo a sedimentação dos sólidos e removendo a necessidade de decantação primária, que retornam para a zona de digestão, e a parte líquida é recolhida com características de efluente clarificado.
- Zona de acumulação de gás: o gás produzido na fase de digestão, composto principalmente por metano, sulfeto de hidrogênio e gás carbônico, é retido em uma zona de acumulação, onde é coletado e eventualmente reaproveitado.

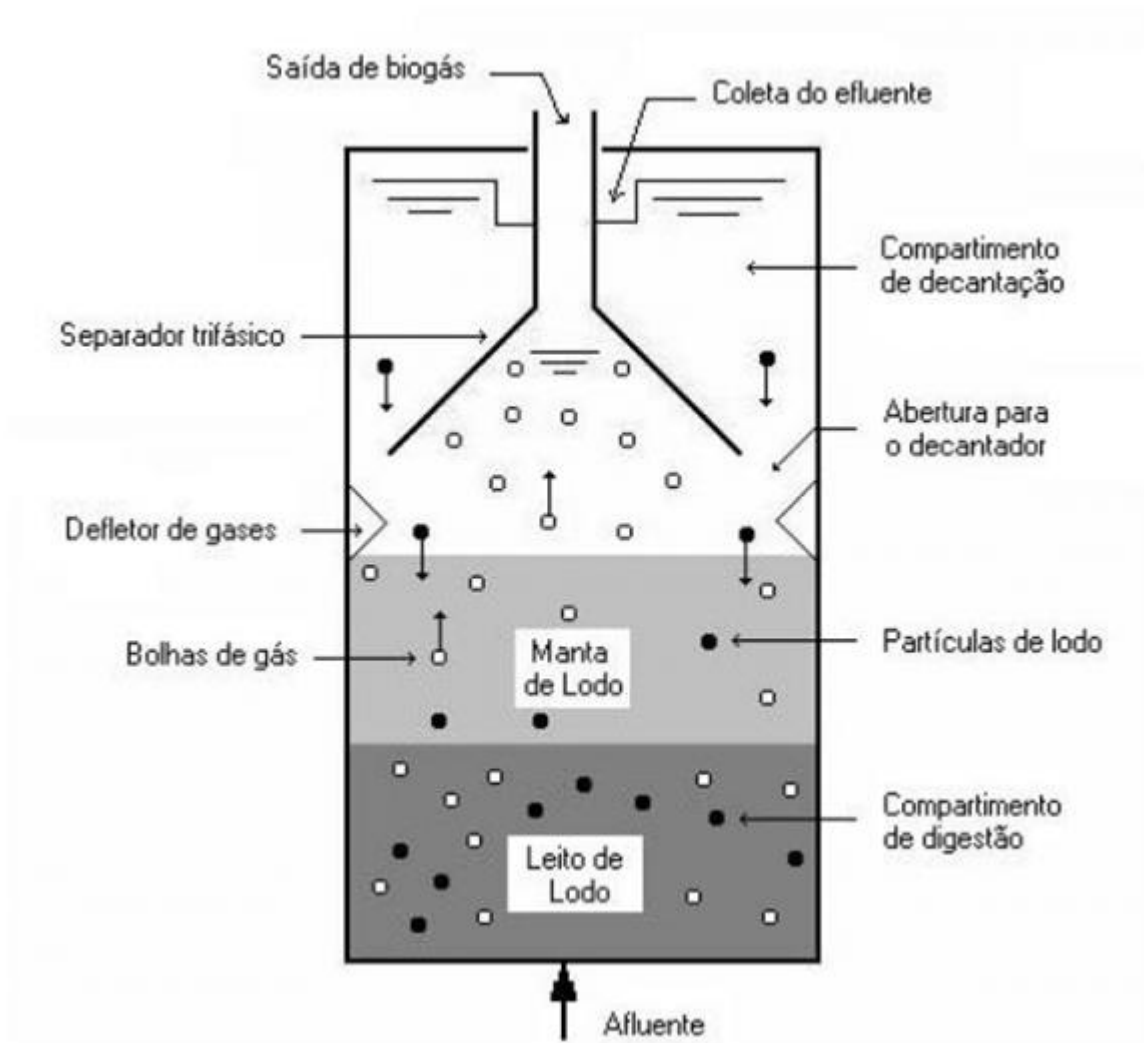


Figura 2 - Esquema Reator UASB (Fonte: Adaptado de Chernicharo 2007).

Os reatores UASB apresentam níveis de eficiência bem elevados, segundo Jordão e Pessoa (2011) a remoção de DBO é de 45% a 85%, dependendo do tempo de detenção e da temperatura. No sistema de tratamento que é objeto deste estudo, o reator UASB é seguido de um pós-tratamento, pois a digestão anaeróbia é pouco eficiente na remoção de fósforo, nitrogênio e agentes patogênicos. Os níveis de DBO não são suficientes para o caso abordado, sendo necessário o uso de um filtro aerado submerso (FAS) após essa etapa.

2.5 FILTRO AERADO SUBMERSO (FAS)

O Filtro Aerado Submerso é normalmente utilizado como tratamento secundário ou pós-tratamento, como é o do caso estudado, complementando a remoção de matéria orgânica e de nutrientes dos processos anaeróbios.

É uma tecnologia recente, que não aparece na NBR 12.209/1992, sendo citada

somente na versão de 2011 na NBR 12.209/2011. Segundo Jordão e Pessoa (2011), o FAS é uma alternativa ao biofiltro aerado com meio granulado, ele possui um meio estruturado fixo grosseiro, composto de plástico ou pedra britada, e não há retenção física de biomassa pela ação da filtração, não sendo necessário a contra-lavagem, o filtro é seguido de um decantador secundário para sedimentação do lodo. Os filtros necessitam de aeração para que possa completar a remoção da matéria orgânica proveniente da etapa anaeróbica, como os compostos formados por nitrogênio ou fósforo.

2.6 MARCO LEGAL DO SANEAMENTO

A Lei Federal Nº 14.026/2020, atualiza o Marco Legal do Saneamento Básico, estabelece como meta a universalização do saneamento básico até 2033, garantindo o acesso a água potável a 99% da população, e 90% ao tratamento e coleta de esgoto. Segundo dados de 2018 do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), 83,6% dos brasileiros possuíam acesso ao serviço de água tratada, já na questão do esgotamento sanitário, apenas 53,2% da população era atendida por serviço de coleta de esgoto e 46,3% possuía tratamento de esgoto.

Um outro objetivo do Marco Legal, é aumentar a participação da iniciativa privada no meio do saneamento, a fim de aumentar a capacidade de investimentos neste setor. Para atrair essas empresas, a lei atribui à Agência Nacional de Águas (ANA), visando a garantia da segurança jurídica na prestação e regulação dos serviços, a competência de instruir normas para a regulação dos serviços de saneamento básico e o órgão passa a ser denominado Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico.

A Lei também estabelece o fim dos “contratos de programa”, que eram contratos firmados entre municípios e as empresas estatais de saneamento sem a necessidade de licitação. O novo modelo utilizado é o de “contratos de concessão”, sendo obrigatória a abertura de licitação, onde empresas públicas e privadas podem concorrer, sendo necessário apresentar planos de investimento, juntamente com as garantias financeiras.

2.7 ASPECTOS LEGAIS

As estações de tratamento de esgoto devem garantir que as águas residuárias devolvidas ao corpo hídrico, não altere as suas características, portanto a qualidade mínima do efluente tratado, é determinada pela classificação do corpo receptor perante os órgãos reguladores, sendo a CONAMA responsável pelo âmbito federal, enquanto a CETESB é a responsável no estado de São Paulo.

A CONAMA 430/2011 estabelece as condições e padrões de tratamento de efluentes em seu artigo 21:

- a) pH entre 5 e 9;
- b) temperatura: inferior a 40°C, sendo que a variação de temperatura do corpo receptor não deverá exceder a 3°C no limite da zona de mistura;
- c) materiais sedimentáveis: até 1 mL/L em teste de 1 hora em cone Imhoff. Para o lançamento em lagos e lagoas, cuja velocidade de circulação seja praticamente nula, os materiais sedimentáveis deverão estar virtualmente ausentes;
- d) Demanda Bioquímica de Oxigênio-DBO 5 dias, 20°C:
máximo de 120 mg/L, sendo que este limite somente poderá ser ultrapassado no caso de efluente de sistema de tratamento com eficiência de remoção mínima de 60% de DBO, ou mediante estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove atendimento às metas do enquadramento do corpo receptor.
- e) substâncias solúveis em hexano (óleos e graxas) até 100 mg/L; e
- f) ausência de materiais flutuantes.

Os estados e municípios podem apresentar legislação própria como citado anteriormente, desde que seja mais restrita que a legislação federal. No estado de São Paulo, as características do efluente são definidas pelo Decreto nº 8.468, de 08 de setembro de 1976, da Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Básico e Defesa do Meio Ambiente (CETESB), que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente, esse decreto é mais exigente na questão do DBO, sendo máximo de 60mg/L ou no mínimo 80% de remoção.

3 METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido através de dados disponibilizados pela concessionária responsável pelo saneamento básico da região abordada, pesquisa por referências de textos da área de interesse e através de visita ao local estudado.

Além da revisão bibliográfica, para o entendimento geral do tema, o estudo foi dividido em duas partes:

1. Estudo de implantação: Análise do local, da população atendida pelo serviço de tratamento de esgoto, vazão, custo de implantação, operação. Com esses dados comparar o custo de operação por habitante e comparar com os valores presentes na literatura (Von Sperling, 2005). Para que seja possível a comparação, os valores obtidos serão convertidos em reais por habitante por ano ($R\$ \cdot hab^{-1} \cdot ano^{-1}$)
2. Comparação das análises do efluente com os valores citados na legislação. Os valores obtidos devem atender os requisitos do Decreto nº 8.468 da CETESB, as análises obtidas da concessionária, contemplam o período de 2023, com exceção do mês de agosto. Os parâmetros analisados são pH, Temperatura, Sólidos sedimentáveis, DBO e eficiência de remoção de DBO. Os dados serão também serão comparados com valores da literatura para o sistema correspondente, com os dados disponíveis na análise.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 ESTUDO DE IMPLANTAÇÃO

A ETE fica localizado no município de Cananéia-SP, em um lote de aproximadamente 400m², de acordo com imagens de satélite disponibilizadas pelo Google Earth®, localizado à beira-mar, e ao lado de um manancial localizado numa região de mangue. O efluente tratado é despejado no manancial, ao invés do Mar Pequeno, pela experiência da empresa com a CETESB.



Figura 3 - Local de Implantação da ETE (Fonte: Google Earth®, Acesso em 20 ago. 2024).

A ETE foi dimensionada para atender 326 ligações, com 4 pessoas por ligação, totalizando 1304 pessoas. Com vazão estimada de 170l/hab.dia, a vazão gerada adotada foi de 221.180 L/dia, e a vazão total de fim de plano de 240.192L/dia, resultando numa vazão média de 2,78L/s.

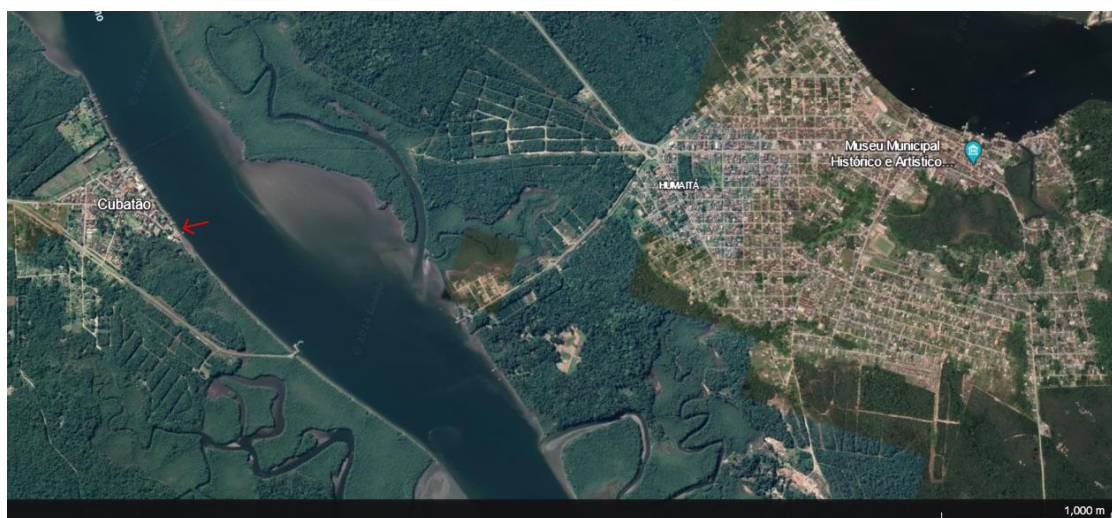


Figura 4 - Situação da ETE em relação à cidade (Fonte: Google Earth®, Acesso em 20 ago. 2024).

Como é possível ver na figura 4, o bairro atendido pela ETE estudada fica destacado da cidade, separado pelo Mar Pequeno, não sendo possível acessar da cidade sem o uso de embarcações, mas é possível acessar de carro a partir de outras cidades. Devido a este destacamento do centro urbano, a concessionária resolveu adotar o sistema estudado nesse trabalho, de ETE descentralizada, que também foi adotado num distrito ainda mais distante do bairro em questão, e também mais povoado.

O município de Cananéia possui 12.289 habitantes, o que significa que somente este bairro, segundo os dados da concessionária, corresponde à 10% da população total da cidade, e portanto segundo a meta do Marco Legal do Saneamento, essa população deve ser atendida para que a meta de 90% de acesso à coleta e tratamento de esgoto seja respeitada. Como dito anteriormente, existe um outro distrito, maior que o bairro estudado, que também recebeu recentemente uma ETE descentralizada, visando atingir a meta estipulada pelo Marco Legal.

A ETE estudada teve um custo de equipamentos R\$474.500,00 estes equipamentos , segundo os dados obtidos, são:

- Estação elevatória de esgoto bruto.
- 2 reatores anaeróbios tipo UASB.
- Reator aeróbio tipo “Filtro Aeróbio Submerso”.
- Decantador lamelar secundário.
- Sistema de desinfecção.
- Sistema de aeração com sopradores de ar tipo deslocamento positivo.
- Sistema de captação e lavagem automática de biogás.
- Painéis elétricos e de automação.
- Sistema de proteção contra descargas atmosféricas.

O custo de implementação da rede de esgoto, elevatórias e a parte estrutural da ETE foi de R\$1.278.432,00. Grande parte do custo é relacionado à rede de esgoto, e portanto não é possível averiguar o custo somente da construção da ETE descentralizada.

O tratamento preliminar é feito com o uso de grades e caixa de areia.



Figura 5 -Tratamento Preliminar (Fonte: Imagem do autor).

O tratamento primário fica a cargo dos dois reatores UASB, que devido à baixa vazão do sistema, atuam como decantadores, além de diminuírem a carga orgânica do esgoto através da decomposição anaeróbica da matéria orgânica.



Figura 6 -Tratamento Primário (Fonte: Imagem do autor).

O tratamento secundário é realizado pelo Filtro Aeróbio Submerso (FAS) e um decantador lamelar secundário



Figura 7 - Tratamento Secundário - FAS (Fonte: Imagem do autor).



Figura 8 - Tratamento Secundário – Decantador lamelar secundário (Fonte: Imagem do autor).

A ETE ainda conta com um pós tratamento, ou tratamento terciário, para a eliminação de potenciais microorganismos patogênicos, através do uso de compostos clorados.



Figura 9 - Pós tratamento – Desinfecção com cloro (Fonte: Imagem do autor).



Figura 10 - Pós tratamento – Dosador de Cloro (Fonte: Imagem do autor).

Por estar localizado numa área distante do centro urbano, a estação possui painéis de automação, permitindo assim o monitoramento e operação de maneira remota, sendo necessário pouco tempo dentro do estabelecimento, o que possibilita que um técnico consiga operar diversas ETEs descentralizadas na região, num mesmo dia, serviços de manutenção como limpeza das grades, filtros, reposição do cloro e limpeza da caixa de areia, por exemplo, ainda se fazem necessários com certa regularidade.



Figura 11 - Painel de automação (Fonte: Imagem do autor).

Os custos de operação da ETE, segundo a concessionária, são em grande parte proveniente do uso de energia elétrica, os dados a seguir, são os custos de energia no ano de 2023:

| Mês | Custo (R\$) |
|---|-----------------|
| Janeiro | 1722,60 |
| Fevereiro | 1984,19 |
| Março | 2581,87 |
| Abril | 2462,64 |
| Maiο | 2633,16 |
| Junho | 2173,97 |
| Julho | 2096,17 |
| Agosto | 2329,67 |
| Setembro | 2186,15 |
| Outubro | 2571,86 |
| Novembro | 1776,34 |
| Dezembro | 2050,72 |
| Total | 26569,34 |
| Total/ano.hab | 20,38 |
| Literatura* | 5,00 - 7,50 |
| | 14,52 - 21,78** |
| *Von Sperling 2005 | |
| ** Valores da literatura atualizados para jul/2024 usando o índice IPCA | |

Tabela 1 – Custos de operação da ETE descentralizada (UASB+FBP).

Os custos de operação de ETEs deste tipo, são as mais caras, especialmente se comparado à lagoa aeróbia+lagoa facultativa que é utilizada dentro da cidade de Cananéia, segundo Von Sperling (2005), com valores entre 2 e 4 reais/hab.ano, porém tal solução é inviável para o bairro, pois necessita de uma grande área, e por se tratar de uma área próxima ao mangue, causaria um grande impacto ambiental. Os valores da literatura estão bem desatualizados, pois após quase 20 anos a inflação tem um efeito considerável no valor, como é possível ver na tabela 1. Após essa correção, utilizando jan/2005 como a data inicial, os valores reais batem com os valores encontrados na literatura.

Para efeito de comparação com o sistema principal utilizado na cidade de Cananéia-SP, tem custos inferiores em relação ao número de habitantes, pois utiliza o sistema de lagoa aeróbia e lagoa facultativa, porém como citado anteriormente, essa solução não é compatível com o local estudado.

| Mês | Custo (R\$) |
|---|--------------|
| Janeiro | 8080,57 |
| Fevereiro | 9322,98 |
| Março | 8680,07 |
| Abril | 9954,59 |
| Maio | 8733,17 |
| Junho | 9725,51 |
| Julho | 10244,44 |
| Agosto | 9425,63 |
| Setembro | 11241,26 |
| Outubro | 10539,51 |
| Novembro | 8005,91 |
| Dezembro | 8480,20 |
| Total | 112433,84 |
| Total/ano.hab | 12,49 |
| Literatura* | 2,00 - 4,00 |
| | 5,81 - 11,62 |
| *Von Sperling 2005 | |
| ** Valores da literatura atualizados para jul/2024 usando o índice IPCA | |

Tabela 2 – Custos de operação da ETE de Cananéia (Lagoa aeróbia+Lagoa Facultativa).

4.2 COMPARAÇÃO DAS ANÁLISES

Conforme citado na metodologia, o período estudado é o ano de 2023, com medições mensais, os valores obtidos nas análises são:

| Parâmetros | pH | Temperatura | Sólidos sedimentáveis | DBO | Remoção de DBO |
|------------|------|-------------|-----------------------|-------|----------------|
| Janeiro | 7,17 | 25,00 | 0,20 | 58,80 | 71,00 |
| Fevereiro | 7,18 | 26,00 | 0,00 | 24,00 | 20,00 |
| Março | 7,39 | 26,00 | 0,00 | 6,00 | 95,00 |
| Abril | 7,10 | 25,00 | 0,00 | 23,00 | 70,00 |
| Maio | 7,34 | 25,00 | 0,00 | 28,40 | 88,00 |
| Junho | 7,50 | 23,00 | 0,00 | 23,80 | 92,00 |
| Julho | 7,31 | 20,00 | 0,00 | 6,40 | 99,00 |
| Agosto | 6,98 | 25 | 0 | 20,9 | 96 |
| Setembro | 6,97 | 25,00 | 0,00 | 32,10 | 90,00 |
| Outubro | 7,13 | 23,00 | 0,00 | 26,80 | 89,00 |
| Novembro | 7,44 | 27,00 | 0,00 | 31,40 | 79,00 |
| Dezembro | 7,27 | 26,00 | 0,00 | 10,00 | 94,00 |
| Média | 7,23 | 24,67 | 0,02 | 24,30 | 81,92 |
| | pH | °C | mL/L | mg/L | % |

Tabela 3 – Parâmetros de qualidade da ETE descentralizada.

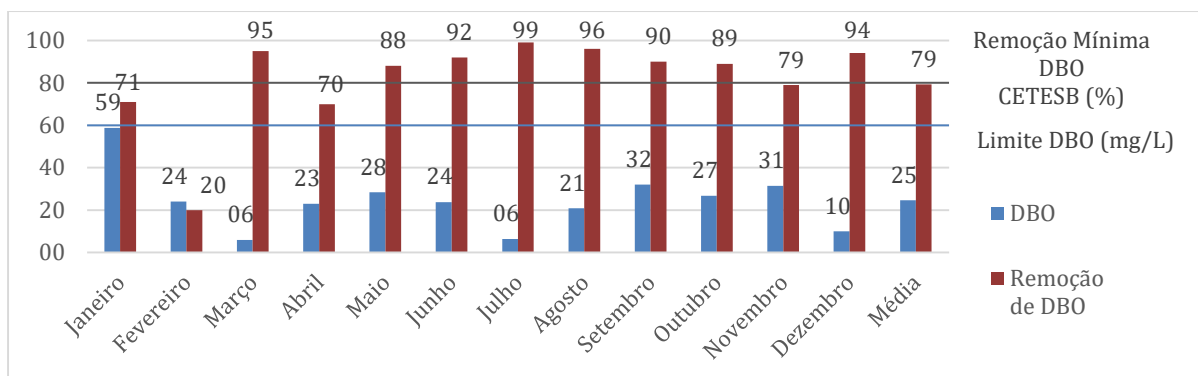


Gráfico 1 – Parâmetros de qualidade.

Os dados obtidos, demonstram que os parâmetros de qualidade estão dentro dos valores aceitáveis pelo Decreto nº 8.468 da CETESB, sendo que os parâmetros de pH, temperatura e sólidos sedimentáveis apresentam baixa variação entre as medições, enquanto a DBO e a porcentagem de remoção de DBO variam bastante. O gráfico 1 analisa os dois parâmetros complementares, DBO e remoção de DBO, cujos valores devem atender aos valores do Decreto, porém só é necessário atender um dos parâmetros abordados.

Os meses de Janeiro e Fevereiro tiveram medições bem discrepantes do resto do período analisado, os motivos para tal ocorrência, não foram citados pela concessionária, mas é possível que em Janeiro, devido à localização costeira do bairro e a época do ano, um grande fluxo de turistas pode ter causado um aumento de carga no sistema, fazendo-o operar acima dos limites calculados.

No mês de fevereiro, após análise do afluente (esgoto bruto), é possível notar a discrepância da DBO presente no esgoto bruto, os valores encontrados nos outros meses eram de 100 à 300 mg/L, com exceção do mês de Fevereiro e Abril, que após análise, apresentaram 30 e 76mg/L de DBO respectivamente. É possível que tal alteração seja resultado de águas de infiltração ou contribuições parasitárias decorrentes das chuvas no período citado, que acabam diluindo o esgoto bruto, essa diluição diminui a concentração de DBO no esgoto bruto, além de aumentar o volume tratado na estação. Com um volume muito acima do projetado, os reatores UASB não conseguem manter a matéria orgânica por muito tempo, impossibilitando a decomposição anaeróbica, podendo resultar na baixa eficiência do sistema. Porém essa é apenas uma suposição, uma vez que a concessionária não informou os motivos dessa variação, e ainda assim o efluente atende aos parâmetros da CETESB.

Os dados obtidos da concessionária para o afluente, não são tão detalhados

quanto o dos efluentes, portanto serão abordados a remoção de DBO, DQO, e sólidos suspensos totais, no mês de agosto de 2023, onde ocorreu a análise detalhada.

| Parâmetros | | Eficiência de remoção (%) |
|--------------------|-------------|---------------------------|
| DBO | Literatura* | 80-93 |
| | Análise | 81,92 |
| DQO | Literatura* | 73-88 |
| | Análise | 97,4 |
| SST | Literatura* | 87-93 |
| | Análise | 99,3 |
| *Von Sperling 2005 | | |

Tabela 4 – Comparação com valores da literatura.

Para o sistema analisado, a eficiência de remoção de DBO apresenta valores próximos ao da literatura, enquanto para os outros dois parâmetros, o sistema apresenta eficiência superior.

Para efeito de comparação com o sistema principal utilizado na cidade de Cananéia-SP, o sistema utilizado na ETE descentralizada é superior nos parâmetros de remoção de DBO, especialmente se desconsiderarmos o valor anormal obtido no mês de fevereiro, fazendo com que a eficiência aumente para 87,5%.

| Parâmetros | DBO | Remoção de DBO |
|------------|-------|----------------|
| Janeiro | | |
| Fevereiro | 55,00 | 58,00 |
| Março | 10,00 | 50,00 |
| Abril | 13,10 | 92,00 |
| Maiο | 53,80 | 78,00 |
| Junho | 15,90 | 97,00 |
| Julho | 56,20 | 88,00 |
| Agosto | 22,10 | 96 |
| Setembro | 36,9 | 86,00 |
| Outubro | 42,90 | 84,00 |
| Novembro | 36,80 | 73,00 |
| Dezembro | 8,20 | 87,00 |
| Média | 31,90 | 80,82 |
| | mg/L | % |

Tabela 5 – Parâmetros de qualidade da ETE de Cananéia (Lagoa Anaeróbia+ Lagoa Facultativa).

5 CONCLUSÃO

As Estações de tratamento de esgoto descentralizadas, têm ganhado espaço ultimamente, na região estudada, devido ao seu baixo custo de implantação, baixo uso de área, modularidade e maior eficiência na remoção de parâmetros. Quando a população atendida se encontra muito longe dos centros urbanos, apesar de seus maiores custos por habitante, como o número de pessoas atendido é pequeno em relação ao total, essa escolha se torna vantajosa, pois evita obras de prolongamento da rede e seus custos envolvidos, como estações elevatórias.

O Brasil tem um grande déficit na área de saneamento, especialmente na parte da coleta e tratamento de esgoto, essas populações sem acesso ao saneamento básico, normalmente se encontram em áreas não urbanizadas, de proteção ambiental, como margens de rios ou de vegetação nativa. Para que as metas do Marco Legal do Saneamento Básico possam ser atingidas, essas populações deverão ser atendidas pelos serviços de saneamento, e as ETEs descentralizadas terão papel fundamental neste processo, porém seus altos custos de operação em relação à soluções mais convencionais, tornam o seu preço proibitivo para grandes populações, e portanto devem ser usadas em situações especiais como o caso estudado, onde outras soluções são inviáveis.

Este maior custo de operação, deve ser subsidiado por métodos mais baratos de operação que atendem um maior número de pessoas, tornando assim, viável o aumento da cobertura de coleta e tratamento de esgoto em áreas mais remotas, assim como faz a concessionária estudada até então.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, 2011. NBR 12209/2011 – Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações e tratamento de esgotos sanitários. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2011. 53p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, 1986. NBR 9648/1986 - Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário - Procedimento. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 1993. 5p.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução 430/2011. *Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de março de 2005.*

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução 357/2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). Resolução 357/2005. *Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera Resolução do 357, de 17 de março de 2005.*

CHERNICHARO, Carlos A.L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Reatores Anaeróbios**. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2007.

Governo do Estado de São Paulo, Programa Vale do Futuro. **Aspectos Populacionais do Vale do Ribeira**. Disponível em: <https://www.valedofuturo.sp.gov.br/observatorio-de-indicadores/indicadores_populacao.php>. Acesso em: 07 dez. 2023.

Governo do Estado de São Paulo, Programa Vale do Futuro. **Indicadores de Sustentabilidade**. Disponível em: <https://www.valedofuturo.sp.gov.br/observatorio-de-indicadores/indicadores_sustentabilidade.php>. Acesso em: 07 dez. 2023.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, **Cidades e Estados**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp/cananeia.html>>. Acesso em 07 dez 2023.

JORDÃO, E.P. e PESSÔA, C.A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 6ª Edição. ABES, Rio de Janeiro, 2011. 969 p.

METCALF & EDDY, INC. (2004). **Wastewater Engineering – treatment, disposal and reuse**. 4º ed. Estados Unidos, McGraw-Hill.

VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Vol. 1 – Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 2a Edição. Editora UFMG - Belo Horizonte, 1996. 243 p.

VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Vol. 1 – Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos.** 3ª Edição. Editora UFMG
- Belo Horizonte, 2005. 452 p.