



AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE ECONÔMICA ENTRE SOLUÇÕES DE TRATAMENTO INDIVIDUAL PARA O ESGOTO DOMÉSTICO.

ECONOMIC VIABILITY ASSESSMENT BETWEEN INDIVIDUAL TREATMENT SOLUTIONS FOR DOMESTIC SEWAGE.

do CANTO, Augusto Schäffer¹

CENCI, Ronaldo André²

Resumo:

O crescimento populacional acelerado, de forma desordenado, em conjunto com a ampliação da produção industrial, eleva a demanda de esgoto em grandes centros urbanos, trazendo consigo a insuficiência das suas redes coletoras. Sistemas individuais, que operam por diferentes processos no tratamento, são alternativas empregadas para reduzir os impactos ambientais causados pela ausência destas redes. Neste sentido, o trabalho visa apresentar a alternativa com o menor custo, entre quatro sistemas de tratamento de esgoto doméstico, propostos a um empreendimento modelo, definidos através de pesquisa bibliográfica, avaliando os seus custos de instalação, operação, manutenção e demanda de área de implantação. Através dos comparativos realizados neste trabalho, o filtro anaeróbico com cepa bacteriológica, da empresa Bioete, denota o valor R\$10,95 por metro quadrado, possuindo o menor custo entre os sistemas avaliados. Contribuíram para este resultado, as facilidades identificadas para a sua instalação e inferiores custos para a sua operação.

Palavras-chave: Tratamento descentralizado. Esgoto doméstico. Filtro anaeróbio. *Wetland*.

¹ Acadêmico do curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina – Unisul, Campus Itajaí/SC. E-mail: augusto.schafferc@gmail.com.

² Acadêmico do curso de Engenharia Civil da Universidade do Sul de Santa Catarina – Unisul, Campus Itajaí/SC. E-mail: ronaldo_cenci@yahoo.com.

Artigo apresentado como requisito parcial para a conclusão do curso de Graduação em Engenharia Civil da Unisul. 2022. Orientador: Prof. Luis Gabriel Graupner de Godoy, Mestre em Engenharia Ambiental.

Summary:

The accelerated population growth, in a disorderly way, together with the expansion of industrial production, raises the demand for sewage in large urban centers, bringing with it the insufficiency of their collection networks. Individual systems, which operate through different treatment processes, are alternatives used to reduce the environmental impacts caused by the absence of these networks. In this sense, the work aims to present the alternative with the lowest cost, among four domestic sewage treatment systems, proposed to a model enterprise, defined through bibliographic research, evaluating their installation, operation, maintenance and demand for area of implantation. Through the comparisons carried out in this work, the anaerobic filter with bacteriological strain, from the company Bioete, denotes the value of R\$10.94 per square meter, having the lowest cost among the evaluated systems. The facilities identified for its installation and lower costs for its operation contributed to this result.

keywords: Decentralized treatment. Domestic sewage. Anaerobic filter. Wetland.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Oliveira *et. al.* (2021), os índices populacionais e a ampliação constante das atividades industriais, criam por si a necessidade de despejos residuários, que sem o devido tratamento, ocasionam na poluição de sua área de descarte, seja no solo, lençol freático, bacias hidrográficas ou canais hídricos. Conforme Silva (2021), a falta de saneamento básico é a principal fonte poluidora das bacias hidrográficas no Brasil.

A agência nacional de águas (2017), apresenta que 43% da população é atendida por rede esgoto coletora e sistema de tratamento, 12% realiza o tratamento de seus efluentes através de soluções individuais. Recorresse a descentralização no tratamento, através de unidades individuais, para então suprir a ausência dos sistemas de coleta e tratamento de esgoto.

O objetivo principal deste trabalho será atendido pelo sistema que, apresentar os menores custos para implantação e operação, concomitante ao menor consumo de área. Diante de avaliação do metro quadrado do empreendimento com o seu preço final, obtendo assim o valor em reais por metro quadrado (R\$/m²) de cada sistema.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

No capítulo a seguir, será exposto às caracterizações de esgoto, processos de desinfecção e os sistemas de tratamento de efluentes analisados.

2.1 ESGOTO

O esgotamento sanitário é descrito pela lei federal n.º 14.026, de 15 de julho de 2020 (Brasil, 2020), que constitui as atividades, manutenção, instalações operacionais necessárias à coleta, ao transporte, ao tratamento e à disposição final dos resíduos. A realização do tratamento de esgoto dispõe principalmente para a saúde pública, tal e qual os cuidados com o meio ambiente.

A geração de esgoto está diretamente associada a população, onde com a utilização das águas, uma parcela retorna para o meio ambiente, com suas características naturais alteradas. Segundo Oliveira (2013), a mistura de compostos orgânicos presentes nos esgotos, gera a chamada matéria orgânica. Conforme Von Sperling (1995), a determinação da DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e pelo DQO (Demanda Química de Oxigênio) ambas relacionadas ao consumo total de oxigênio, necessário para a estabilização da matéria orgânica.

As redes de esgoto são divididas em domésticas e industriais, o esgoto doméstico é descrito pela NBR 9648/86 (ABNT, 1986), como o despejo de água que foi utilizada para atender as necessidades humanas limpeza e higienização, originários de residências e edificações comerciais.

2.2 PROCESSOS DE TRATAMENTO:

De acordo com Pinto (2013), o tratamento dos esgotos domésticos busca remover o material sólido, reduzir a demanda bioquímica de oxigênio, as substâncias químicas presentes e a eliminação de microrganismos patogênicos. Para atender a resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), n.º 430, de 16 de maio de 2011 (Brasil, 2011), que determina condições e padrões para o lançamento de efluentes diferentes processos de tratamentos são aplicados, categorizados entre físicos, biológicos e químicos.

2.2.1 Processos de Tratamento anaeróbios e aeróbios:

Nos processos anaeróbios, conforme Silva (2018), as bactérias não precisam de oxigênio presente no efluente, para realizar a degradação e estabilizando da

matéria orgânica. De acordo com Oliveira (2013), são sistemas de construção simples, de alto desempenho na remoção da carga orgânica dissolvida e pouca produção de lodo. Geralmente não usam energia elétrica, atuando apenas com força gravitacional, sendo um sistema biológico, sem a necessidade de aditivos químicos.

Os processos aeróbios, conforme Von Sperling (1995), trabalham com bactérias que necessitam de oxigênio para alcançar a estabilização da matéria orgânica. Ainda, possibilitam a remoção do nitrogênio e apresentam elevados índices de supressão da DBO. Conforme Ercole (2003), estes processos trazem uma desvantagem, devido a equipamentos de aeração, os sistemas acabam por consumir energia elétrica, aumentando as suas despesas de operação.

2.3 SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICOS

Inúmeros são os sistemas disponíveis e tecnologias para o tratamento de esgoto. A seguir são descritas as quatro soluções definidas para compor este trabalho.

2.3.1 Tanque séptico associado a filtro anaeróbio:

Conforme descreve Oliveira (2021) para tratamentos domésticos, os tanques sépticos de câmara única associados a filtros anaeróbios, são amplamente utilizados no Brasil. Von Sperling (1995), descreve que o tanque séptico realiza uma decantação primária, removendo a maior parte dos sólidos suspensos, que decantam e sofrem o processo de digestão anaeróbia, assim a matéria orgânica efluente passa para o filtro.

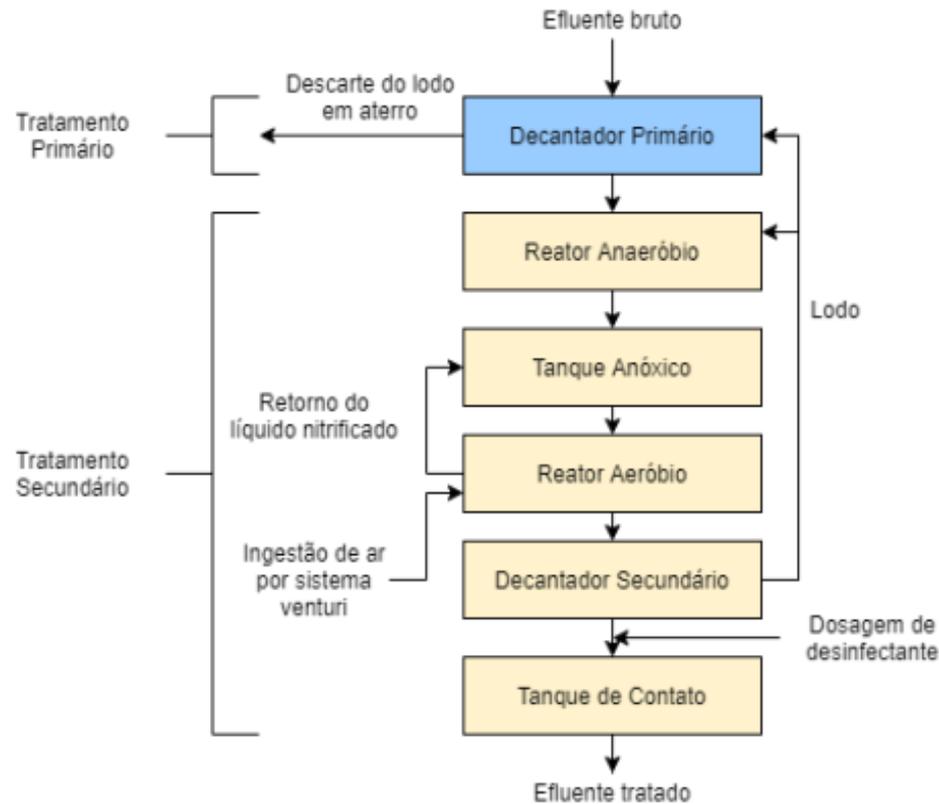
Conforme Ercole (2003), estes filtros trabalham com meio suporte para a fixação de bactérias, de forma submersa, desenvolvendo microrganismo na forma de um biofilme, podendo ter seu fluxo ascendente, horizontal ou descendente. Ainda citando Ercole (2003), os filtros anaeróbios mais comuns tratam-se de uma unidade com o fundo recheado por pedras britadas, para meio suporte, onde as bactérias aderidas a este meio realizam a degradação da matéria orgânica. De acordo com Oliveira (2021), novos materiais filtrantes e meio de suporte as bactérias vêm sendo estudadas ao longo dos anos, visando ampliar a eficiência destes sistemas.

2.3.2 Lodos ativados com fluxo intermitente:

Conforme Ercole (2003), este sistema consiste em um único tanque receptor, onde todas as operações são realizadas, através ciclos, agindo de forma a ser representada de acordo a uma estação de tratamento de esgoto (ETE).

A empresa Compacta Soluções Ambientais Ltda., possui uma ETE individual, com tratamento combinado entre anaeróbico e aeróbios por lodo ativado. De acordo com ANA (Brasil, 2017), são processos mais complexos de projetar, construir e operar, onde podemos observar os diversos ciclos deste sistema, na figura 1:

Figura 1: Fluxograma de ETE Individual – modelo BioSmart 8900



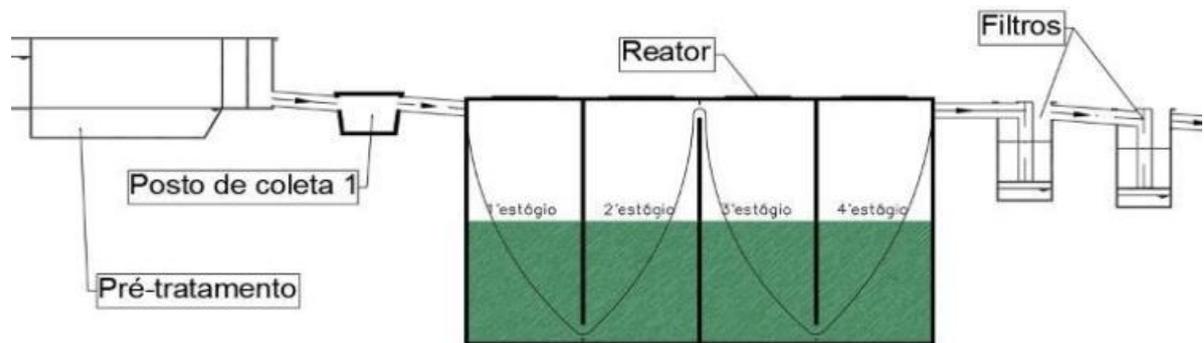
Fonte: Compacta Soluções Ambientais (2022)

Conforme Compacta (2022), este sistema realiza a desinfecção atendendo integralmente a resolução nacional do CONAMA, n.º 430, de 16 de maio de 2011 (Brasil, 2011). Com taxa de remoção de 90% das cargas orgânicas, realizando a remoção de nutrientes (nitrogênio e fósforo) e com baixa produção de lodo, diante do mesmo recircular no sistema.

2.3.3 Filtro anaeróbios com fluxo horizontal:

Ercole (2003), descreve este sistema com baixa produção de lodo, que não consome energia, possui poucas exigências para sua construção, com simples operação e manutenção. Na apresentação de novas soluções a empresa Domus Dei montagem e comercio de estação de efluentes Ltda. com nome fantasia Bioete, desenvolveu e patenteou um sistema de filtro anaeróbico com biomassa e chicanas de bambu, conforme a figura 2.

Figura 2: Representação do sistema de tratamento reator Bioete



Fonte: Bioete (2022)

Conforme a figura 2, para evitar o acesso de elementos não filtrante, uma caixa gradeada e/ou desarenador é inserida como pré-tratamento. O sistema composto por estágios, com fluxo horizontal, ascendente e descendente, ampliando o percurso traçado pelo efluente, sem necessitar de recirculação com o uso de energia elétrica.

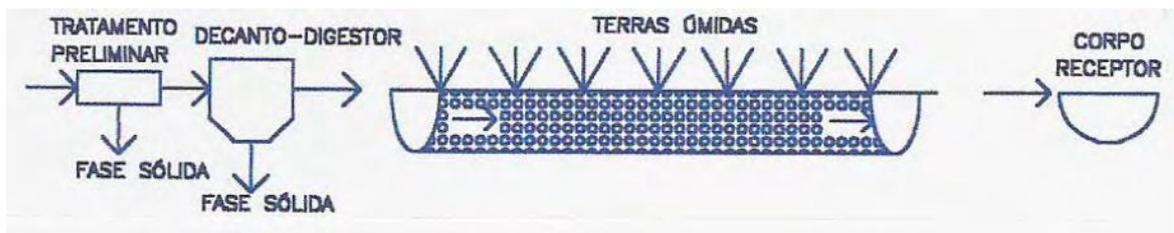
Bioete (2022), apresenta que no primeiro estágio o efluente passa por paredes internas formadas por bambus, onde está aplicada a cepa bacteriana, que atua na degradação da matéria orgânica através do processo biológico e sem a presença de oxigênio. Os sólidos resultantes e sedimentados no fundo do decantador, são recirculados naturalmente pelo sistema, através do fluxo hidráulico, aumentando a concentração da biomassa.

Conforme Bioete (2022), no estágio seguinte, as bactérias atuam para a remoção da DBO e DQO, fósforo e nitrogênio, possuindo a entrega de efluente de classe 2. De acordo Bioete (2022), o sistema não precisa de nenhuma inserção química em seus estágios, funcionando apenas com o desenvolvimento microbiano. Seu tempo de detenção hidráulica é baixo, deixando assim o sistema mais compacto.

2.3.4 Wetland:

De acordo com Ercole (2003), este sistema o solo é saturado, através da construção de um leito e aplicação de vegetação específica, macrófitas aquáticas, por onde a água residuária percola, intercorrendo na sua depuração por processos físicos e químicos, devido à degradação microbiológica, conforme se observa na figura 3.

Figura 3: Representação do sistema de tratamento de *wetland*



Fonte: Ercole (2003)

Conforme Santos (2019), o efluente deve passar por sedimentação em tanque séptico, atuando como decantador primário, promovendo uma maior vida útil do sistema. Conforme Silva (2015), existe três categorias de sistemas fundamentados em macrófitas aquáticas, dentre eles os flutuantes, submersos e emergentes. Os sistemas emergentes podem ainda ser classificados em superficial e subsuperficial, horizontal, vertical e híbrido, ou misto (fluxo vertical com fluxo horizontal).

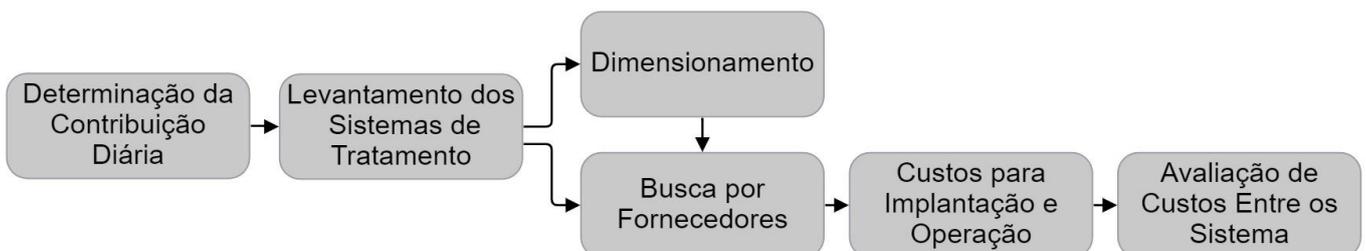
De acordo Sezerino (2015) nas *wetland* de fluxo subsuperficial horizontal, o efluente a ser tratado passa por zonas de entrada e saída, formadas por agregados graúdos (brita, pedregulho ou cascalho), que agem como material filtrante. O efluente atravessa o leito, através do fluxo impulsionado por declividade no fundo do sistema.

O tratamento transcorre através do substrato, rizomas e raízes das plantas, que funcionam como meio suporte das bactérias que consomem a matéria orgânica. Ercole (2003), descreve que o solo submerso trabalha de forma anaeróbia, mas devido à incorporação de ar, obtido pelas macrófitas, permite que o substrato próximo às raízes, operem através de bactérias aeróbias, devido à transferência de oxigênio.

3. MATERIAIS E METODOS

Neste capítulo, apresentamos os processos definidos para realizar a avaliação econômica entre soluções de tratamento de esgoto doméstico. Através da figura 4, pode ser identificada as etapas realizadas.

Figura 4: Diagrama do delineamento do estudo técnico comparativo



Fonte: Autores (2022)

Para a primeira etapa, é necessário obter o levantamento da contribuição de despejos. Neste momento, informações referentes ao empreendimento modelo são necessárias, pois servem para fator de consultas nas tabelas condicionadas as normativas. Conforme representado pela figura 5, o empreendimento modelo contempla o projeto de um edifício de 12 pavimentos, com 08 unidades habitacionais, 03 dormitórios em cada unidade e área total de 1.557,43 m², em um terreno com 312,00 m².

Figura 5: Representação do empreendimento modelo



Fonte: Casa Prime Empreendimentos (2021)

Através da figura 5, se identifica que o empreendimento dispõe de ampla taxa de ocupação sobre o terreno. Diante dos valores de contribuição avaliados a seguir, torna-se possível determinar os custos e realizar avaliação entre eles.

3.1 DETERMINAÇÃO DA CONTRIBUIÇÃO

3.1.1 Número de Contribuintes

O número de contribuintes, deve ser estabelecido seguindo as disposições da NBR 7229 (ABNT,1993), através de equação 1 apresentada a seguir.

$$\mathbf{N = Apartamentos \times Dormitórios \times 2} \quad \mathbf{(1)}$$

O empreendimento modelo é descrito como um edifício residencial multifamiliar, de padrão médio, com 08 unidades habitacionais, havendo 03 dormitórios em cada uma destas unidades, a NBR 7229 (ABNT,1993), estabelece a ocupação de 02 contribuintes para cada dormitório. Desta forma, conforme apresentado na equação 1, infere-se ao empreendimento 48 contribuintes.

3.1.2 Volume de Contribuição Diária de Despejos de Carga Orgânica.

Para determinar o volume da contribuição diária de despejos de carga orgânica, utiliza-se equação 2, seguindo as disposições da NBR 7229 (ABNT, 1993). Onde, V é volume de contribuição diária de despejos, em litros, N é o número de contribuintes, C é a contribuição de despejos, em litros / (pessoa dia).

$$V = N \times C \quad (2)$$

Conforme a NBR 7229 (ABNT, 1993), infere-se que para um empreendimento, de padrão médio, 130 litros de contribuição diária por pessoa, assim, multiplicando pelos 48 contribuintes, resulta na contribuição diária de 6.240 litros.

3.2 LEVANTAMENTO DOS SISTEMAS

Através dos valores de contribuições obtidos, foi realizada pesquisa por soluções, que demandam menores custos de implantação e operação, que produzam resultados semelhantes e atendam às exigências dos órgãos regulamentadores. Sendo fator preponderante a área necessária para à utilização do sistema, dentre os sistemas pesquisados, quatro foram selecionados.

3.3 DIMENSIONAMENTOS E DESCRIÇÕES DOS SISTEMAS:

Conforme as normas brasileiras regulamentadoras (NBR), leis e resoluções, referências bibliográficas e informações técnicas apresentadas pelos fornecedores, a seguir indicaremos as dimensões necessárias para cada sistema e descreveremos os processos de implantação e construção das soluções estudadas.

3.3.1 Sistema 01, Tanque séptico associado a filtro anaeróbio e caixa cloradora:

Se trata de um sistema disposto em duas etapas; tanque séptico e filtro anaeróbio. São disponibilizados para compra em tanques pré-moldadas em concreto, plástico de alta resistência ou até mesmo pode optar por sua construção *in loco*, sendo fundamental garantir a sua estanqueidade destes sistemas.

Para a proposta, optou-se pela simulação da aquisição de peças pré-moldadas de concreto, com seu formato circular para o tanque séptico e retangular para o filtro anaeróbio, aplicando brita n.º1, no fundo do filtro, servindo como meio suporte para as bactérias do sistema. Para determinar as dimensões utiliza-se as normas brasileiras específicas para cada parte do sistema. Primeiramente admite-se o cálculo do volume útil do tanque séptico, utilizando a NBR 7229 (ABNT,1993), obtendo o valor de 8.300 litros, adotando assim tanque circular, com diâmetro e altura útil de 220 cm.

Para o filtro anaeróbio, utilizamos as disposições NBR 13.969 (ABNT,1997), onde o volume útil do filtro anaeróbio foi calculado em 7.488 litros. Conforme a NBR 13.969 (ABNT, 1997), a altura do leito filtrante, já incluindo a altura do fundo falso, deve ser limitada a 120 cm, e o fundo falso limitado a 60 cm, já incluindo a espessura da laje. Sendo assim, o filtro foi projetado em estrutura retangular, com dimensões de 220 cm por 330 cm, altura útil de 120 cm, adotando o volume de 8.712 litros.

A distribuição do sistema ocorre linearmente, onde se faz necessário a escavação e remoção do material excedente, devendo ser locado uma escavadeira e contratado o serviço de caminhão bota-fora. A mão de obra para instalação e demais itens complementares, tais como tubos e conexões, meio suporte de fixação das bactérias, dentre outros materiais necessários, ocorrerá através do fabricante, visto a forma de contratação, onde ele entregará o sistema instalado e aprovado ao órgão competente.

3.3.2 Sistema 2, Lodos ativados com fluxo intermitente

O sistema fornecido pela empresa Compacta Soluções Ambientais Ltda., integrando todas as etapas, em formato de tanque, com 262 cm de diâmetro, por 341 cm de altura. Confeccionado em camadas de fibra de vidro, resinas estruturantes e demais materiais para garantir sua estanqueidade.

Sendo um sistema que trabalha enterrado, onde uma tampa e parte da tubulação fica alocada na parte superior externa, para coleta de amostra e manutenção. O sistema opera com a potência requerida de 600W, conforme memorial técnico do fabricante. Todos os componentes para acionamento do sistema estão no escopo orçamentário da fabricante, incluindo quadro de comando.

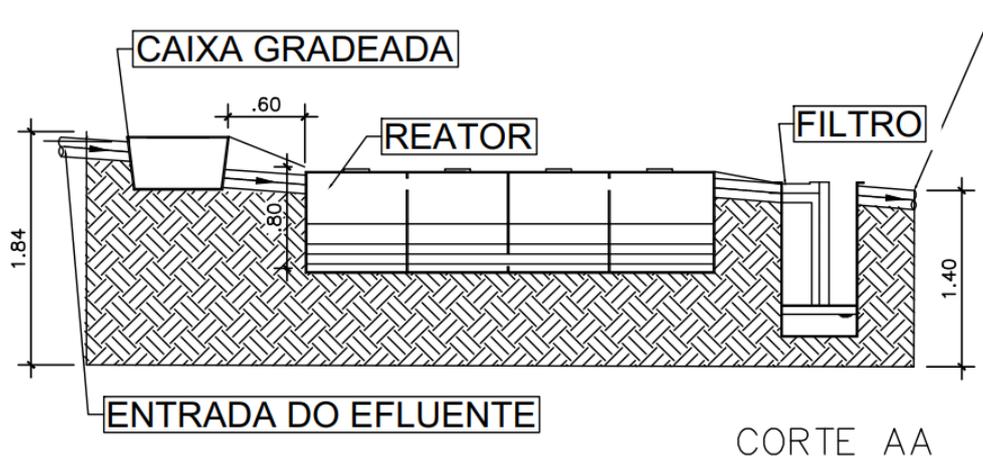
Este sistema necessita de maiores cuidados em sua operação, ocorrendo verificações semanais e mensais do equipamento, além da aplicação de hipoclorito de sódio (200g) a cada 20 dias. Em um intervalo de 08 a 12 meses de operação,

variando conforme utilização e produção, deve ocorrer a retirada do lodo gerado em um de seus estágios, através de serviço de caminhão limpa fossa.

3.2.3 Sistema 3, Filtro Anaeróbio ETE com uso de Biomassa, Bioete:

O sistema é composto por 03 etapas, diante da primeira ser uma caixa de gradeamento, a segunda parte constituir a instalação do reator anaeróbico e a terceira ser o filtro ou caixa cloradora. O modelo 325x80, atende as exigências do empreendimento, com seu fluxo horizontal, o reator tem sua projeção longitudinal, possuindo uma estrutura mais compacta, com 80 cm de altura e 325 cm de comprimento, compreende em uma instalação sem necessidade de escavações profundas, conforme apresentado pela figura 6:

Figura 6: Corte longitudinal instalação sistema Bioete



Fonte: Bioete (2022)

Nas instalações de sistemas de tratamentos, devemos estar atentos na altura de saída do sistema para a rede de coleta. Conforme pode ser apercebido pela figura 6, a caixa gradeada deve ser instalada em cota mais alta que a do reator, e o reator em cota mais alta que o filtro, desta forma utilizando-se da gravidade para realizar o fluxo do efluente, dispensado o consumo de energia elétrica na operação do sistema.

3.2.4 Sistema 4, *wetland*:

Durante a elaboração deste trabalho, não foi localizado fornecedores para o projeto ou execução do sistema *wetland*, na região do empreendimento modelo. Desta forma, com base em referências bibliográficas, foi definido pela sugestão de uma *wetland* enterrada de fluxo horizontal subsuperficial.

A primeira etapa consiste na decantação em tanque séptico, este segue os mesmos padrões dispostos para o sistema 1. De acordo com Ercole (2003), aplica-se

na forma empírica a relação área por pessoa, sugerindo o uso de 2,00 a 5,00 m²/pessoa, aplicando a taxa mínima, 2,00 m²/pessoa, considerando 48 contribuintes, determina-se que o sistema terá área superficial necessária de 96,00 m².

De acordo com Sezerino (2015), para promover uma tendência ao escoamento é indicado o uso da proporção 8x1 (comprimento x largura). Ainda citando Sezerino (2015), na literatura brasileira não está apresentado um tempo de detenção hidráulico mínimo requerido, tão pouco o volume mínimo para uma *wetland*, apenas acondicionado a altura máxima de 1,50 metros para o sistema.

A concepção do projeto será baseada nos estudos elaborados por Santos (2019), definido uma estrutura enterrada, com profundidade 70 cm útil, onde o leito possui laje de concreto impermeabilizada e paredes em alvenaria, igualmente impermeabilizadas, aplicando duas células de tratamento no sistema, para manutenções. Conforme Santos (2019), para a escolha das macrófitas, aconselha-se o uso de espécies regionais, com eficiência comprovada, diante da facilidade de adaptação e custos inferiores.

3.3 LEVANTAMENTO DOS REQUISITOS DE CUSTOS

Para quantificar os resultados diante da elaboração de requisitos, este trabalho se referenciou por Ercole (2003), em dois aspectos, requisitos de implantação e de operação. Permitindo desta forma uma avaliação sucinta entre os sistemas.

3.3.1 Requisito de implantação

Conforme Ercole (2003), a implantação corresponde aos serviços de construção e montagem dos equipamentos, onde de ser relacionado os requisitos desta etapa em complexidade construtiva, custos de implantação e área necessária (m²/habitante). Diante da sua escassez em perímetros urbanos, a área é um fator determinante para a escolha entre os sistemas.

Ercole (2003), descreve a complexidade construtiva através das necessidades de mão de obra e equipamentos especializados. Em seu último requisito, custos de implantação, observa-se a infraestrutura para montagem e aquisição do sistema.

3.3.2 Requisito de operação

Conforme Ercole (2003), os requisitos de operação observam-se principalmente pela produção de lodo, relacionando com a frequência da remoção

deste material. Ercole (2003), requisita o custo operacional com maior influência aos sistemas mais complexos, onde demanda acompanhamento e manutenção mais frequentes além de atividades que necessitam de mão de obra especializada.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

No capítulo a seguir, apresentamos os valores verificados para cada um dos sistemas, em sua implantação e operação, onde através destes valores, se realizou comparações e avaliações entre os mesmos.

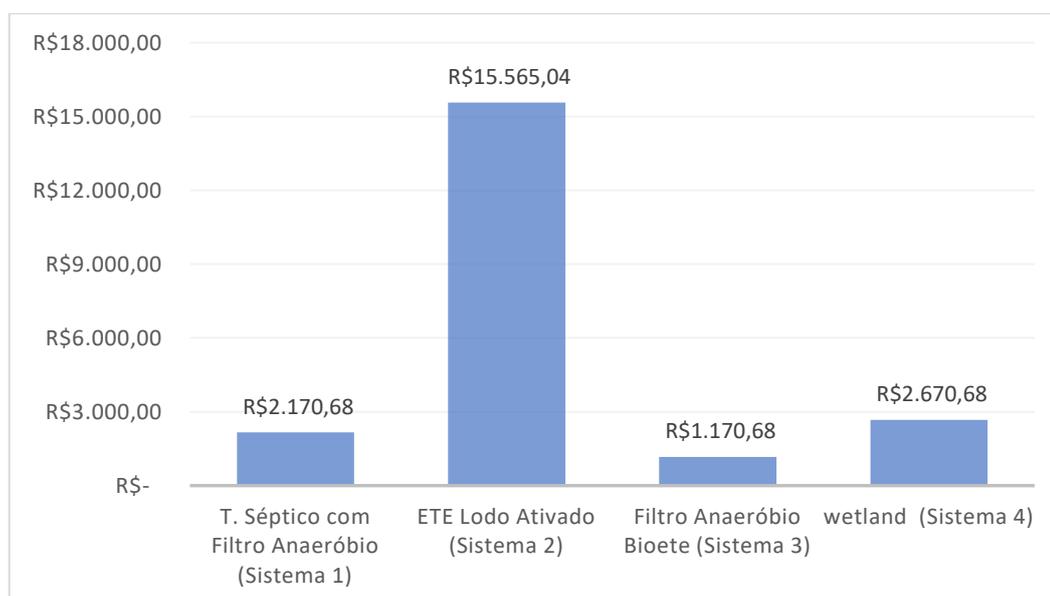
4.1 LEVANTAMENTO DE CUSTOS DOS SISTEMAS PROPOSTOS

Com base no mercado e nas tecnologias disponíveis, foram realizados orçamentos com fornecedores regionais. Quando não foi possível obter orçamentos, seus valores foram obtidos através de referencial teórico ou dispostos na tabela do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), de maio de 2022, com composição sintética, não-desonerada.

4.1.1 Custos de Operação

Os custos de operação foram adaptados conforme Ercole (2003), seguindo os requisitos de manutenção, produção e remoção de lodo, aplicação de produtos químicos, serviços de verificação periódica e consumo de energia. Na figura 7, pode ser observado os custos de operação anuais, aplicados para cada sistema.

Figura 7: Custo de operação anual entre os sistemas.



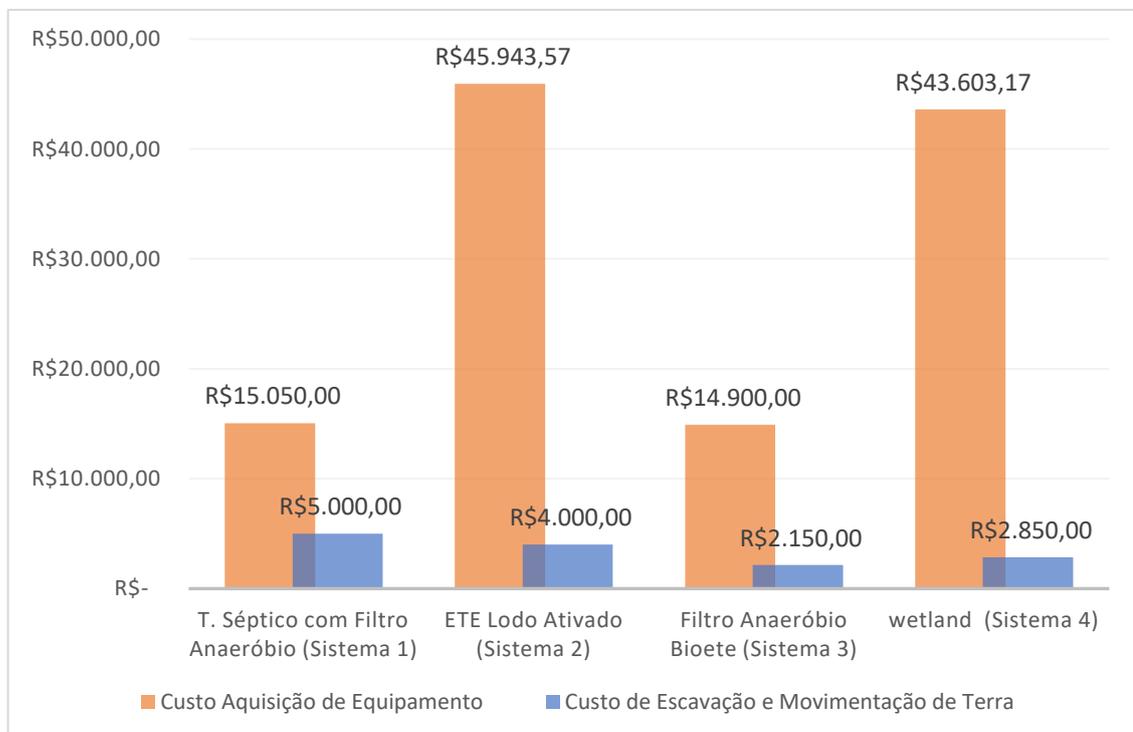
Fonte: Autores (2022)

O sistema 2 tem elevado custo operação anual, dentre as soluções avaliadas, é o único que demanda atividades semanais de verificação e consumo de energia elétrica. Conforme exigências dos órgãos municipais, os sistemas 1,3 e 4 necessitam que o efluente passe por caixa cloradora, após o tratamento. Assim, nestes sistemas, ocorre o custo operacional da aplicação de pastilhas de cloro a cada 20 dias.

4.1.2 Custos de Implantação

Os custos de implantação são expressos através dos requisitos adaptados de Ercole (2003), considerando os valores do sistema e sua instalação. Na figura 8, pode ser observado os custos de implantação levantados para cada sistema.

Figura 8: Custo de Implantação entre os sistemas



Fonte: Autores (2022)

Podemos identificar que os custos relacionados a movimentação de terra pouco diferem, entretanto os custos de aquisição podem ser até três vezes maiores entre um sistema e outro, mas existe uma semelhança nos custos de aquisição dos filtros anaeróbios (Sistema 1 e Sistema 3).

4.2 VIDA ÚTIL DOS SISTEMAS DE TRATAMENTO

Pertinente ao levantamento dos custos estabelecidos a um sistema, está a sua vida útil, onde atribui-se a durabilidade da estrutura e dos materiais recheio ou meio

filtrante. Entretanto, este requisito tem pouca abrangência em referencial teórico. Define-se que sistemas avaliados são constituídos de concreto ou polímero reforçado com fibra de vidro (PRFV).

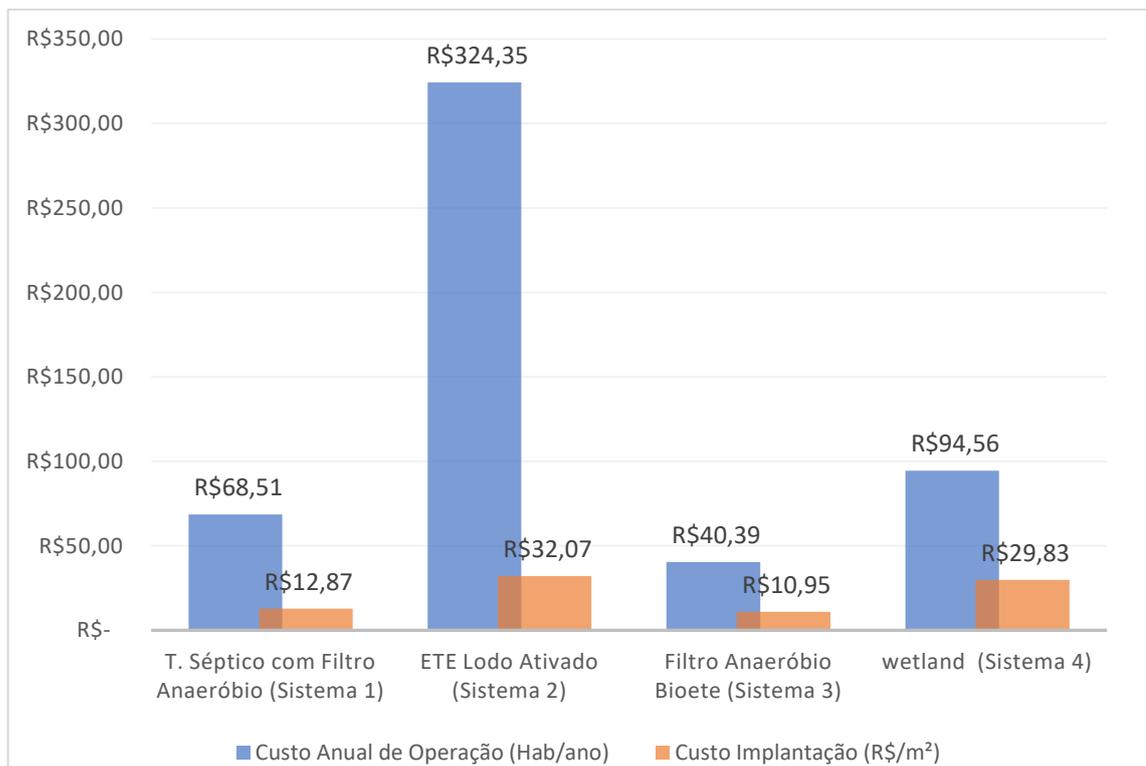
Conforme Hoppe (2014), ao analisar o ataque ácido em uma ETE de concreto, após 15 anos de funcionamento, a mesma apresentou degradação em sua estrutura, mas em ensaios de compressão, ainda atende as especificações do projeto. O PRFV utilizado nos sistemas 2 e 3, são compostos por resinas a base de epóxi, estér vinílico, dentre outros materiais que elevam sua vida útil e estanqueidade.

Conforme Perondi (2019), se atribui 20 anos de vida útil as *wetlands*, diante da necessidade na remoção do lodo sedimentado no leito, assim removendo as macrófitas, para realizar a limpeza. Este procedimento aplica-se somente para o sistema 4, diante que os demais sistemas propostos, a remoção do lodo não motiva a retirada de seus meios filtrantes.

4.3 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS SISTEMAS

Através da verificação de custo operacional por contribuinte ao ano e os seus custos de implantação por metro quadrado pode ser realizada avaliação de viabilidade econômica entre os sistemas, conforme pode ser verificado na figura 9.

Figura 9: Gráfico de avaliação de custos entre sistemas



Fonte: Autores (2022)

Não foi considerado o valor de aquisição de área para o Sistema 4, para dessa forma abordar apenas os valores referentes aos seus custos construtivos. Segundo Perondi (2019) o sistema 4, *wetland*, possui custos de implantação com taxa de 30% inferior a outras soluções de tratamento e custos operacionais correspondentes entre 10 a 20%.

Entretanto, conforme apresentado na figura 9, o sistema de *wetland* obteve o segundo maior custo de operação e implantação, devido à impermeabilização e manutenções, como a poda regular, controle de insetos e verificações periódicas. Onde a concepção de projeto, baseada em Santos (2019), traz consigo um encarecimento do sistema, onde em seu próprio estudo, ele já demonstra este fato e sugere a redução de custos através da execução de solo escavado, com manta ou lona de impermeabilização.

Apesar disso, esta proposta de projeto é necessário aprofundamento sobre as características do solo. No caso do empreendimento modelo, a cota do lençol freático está baixa, com 1,17 metros de profundidade, que tratando desta situação, ocorreu a escolha dos tanques da *wetland* em alvenaria.

Contudo, conforme Perondi (2019), se identifica que os sistemas de *wetland* podem ter valores inferiores para sua implantação, comparado a outros sistemas, porém deve ser avaliado a concepção do projeto destes sistemas. Na tabela 1, descreve-se custo de implantação dos sistemas e custo de implantação por metro quadrado.

Tabela 1: Resumo dos Custos dos Sistemas Propostos em Empreendimento Modelo

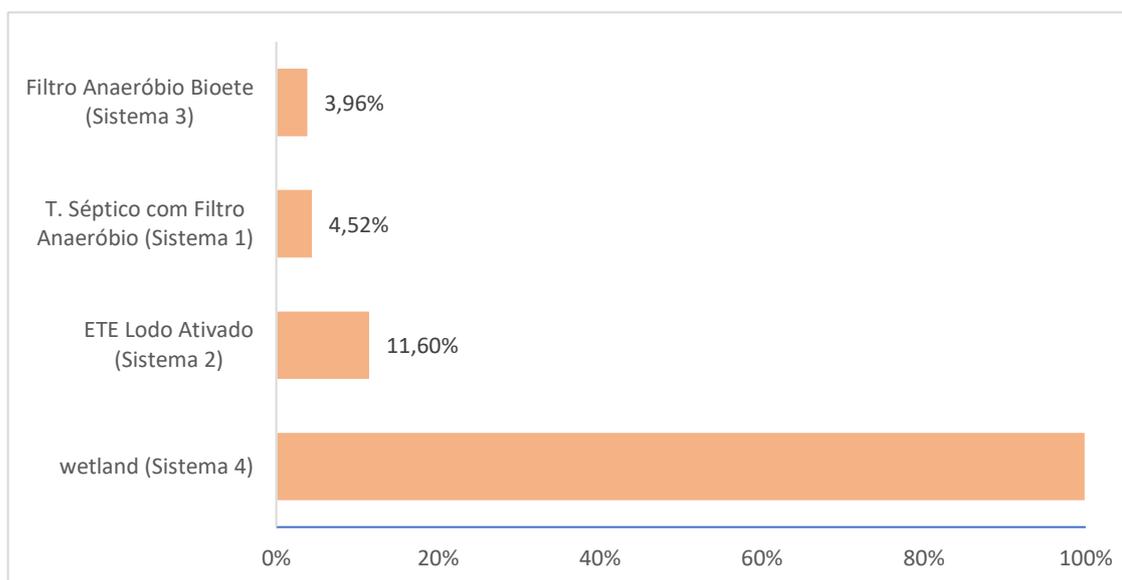
	Custo Implantação por m ² (R\$/m ²)	Custo Implantação Total (R\$)
T. Séptico com Filtro Anaeróbio (Sistema 1)	R\$ 12,87	R\$ 20.050,00
ETE Lodo Ativado – Compacta (Sistema 2)	R\$ 32,07	R\$ 49.943,57
Filtro Anaeróbio Horizontal - Bioete (Sistema 3)	R\$ 10,95	R\$ 17.050,00
<i>Wetland</i> (Sistema 4)	R\$ 276,39	R\$ 430.453,17

Fonte: Autores (2022)

Destaca-se na tabela 1, que diante da área destinada para o tratamento com *wetland* não ser possível aplicar no terreno pertencente ao empreendimento modelo, deve ser considerado os custos de aquisição de terreno para o sistema 4. Entretanto, diante do empreendimento modelo se encontrar em uma área de plena exploração imobiliária, este valor que causa disparidade na avaliação entre os sistemas, inviabilizando economicamente a implantação de uma *wetland*.

Na figura 10, pode se verificar o custo proporcional de implantação, em ordem crescente, entre as soluções, seguindo os valores dos custos de implantação total, dispostos na tabela 1.

Figura 10: Custo proporcional de implantação entre sistemas



Fonte: Autores (2022)

Na figura 10, o sistema 4 representa o valor estimado percentualmente dentre as demais soluções. A exemplo que o filtro anaeróbio da Bioete, sistema 3, resulta em apenas 3,96% do custo com relação à implantação do sistema de *wetland*.

Podemos observar que a estação de tratamento com lodo ativado, sistema 2, apresenta 11,60% do valor de implantação, relacionando com o estudo dirigido por Ercole (2003), onde descreve este sistema como uma solução de elevado custo de implantação e manutenção. Contudo, ao desconsiderar o custo do terreno na *wetland*, o sistema 2 acaba se tornando o mais caro dentre os avaliados.

Para o sistema 1, observa-se o custo de 4,52% em relação ao sistema 4, que de acordo com Oliveira *et al.* (2021), se trata dos sistemas com os menores custos de implantação, pouca manutenção e fácil operação. Entretanto, para o empreendimento modelo, as cotas de lençol freático e as profundas escavações e movimentação de terra que serão necessárias, trazem dificuldades para a implantação deste sistema.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em virtude da avaliação entre as soluções de tratamento individuais para esgoto, com base nos dados discutidos neste trabalho, o Sistema 3, filtro anaeróbio horizontal, patenteado pela empresa Bioete, apresentou os resultados mais

satisfatórios. Atendendo aos requisitos, obteve o menor custo de implantação, R\$ 10,95/m², sendo o menor valor dentre os de aquisição do sistema e apresentando dimensões que não necessitam de grandes escavações, fator preponderante para o empreendimento modelo.

Demonstrando também os menores custos para os requisitos de operação, por trabalhar na degradação biológica da matéria orgânica, sem à inclusão de produtos químicos e com produção de lodo praticamente nula. Conseqüentemente, reduzindo a sua demanda de área e frequência na remoção de lodo.

Entretanto, mesmo com os autores declarando satisfação aos resultados desta solução, ressalva-se a importância da prévia validação do sistema, aos órgãos fiscalizadores do município em que ele for implantado.

REFERÊNCIAS:

ACESSO A **Atlas Esgotos 2017**, Agência Nacional de Águas (ANA), 2017, disponível em; <http://atlasesgotos.ana.gov.br/>, Acesso em 30 de abril 2022.

ACESSO A **Fluxo Ambiental (sistema 3)**, disponível em; <https://fluxoambiental.com.br/como-escolher-estacao-tratamento-esgoto-ete-ideal-seu-empreendimento/>, Acesso em 21 de maio 2022.

ACESSO A **LEI Nº 14.026, DE 15 DE JULHO DE 2020**, disponível em; http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Lei/L14026.htm#art6, acesso em 1º de maio 2022

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7229: projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos**. Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8160: Sistemas prediais de esgoto sanitário - Projeto e execução**. Rio de Janeiro, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação**. Rio de Janeiro, 1997.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). **Manual de saneamento** / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. – 5.ed. Brasília: Funasa, 2019. 545 p.: il. Disponível em: http://www.funasa.gov.br/home?p_p_id=101&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&_101_struts_action=%2Fasset_publisher%2Fview_content&_101_returnToFullPageURL=%2F&_101_assetEntryId=232228&_101_type=content&_101_urlTitle=manual-de-saneamen-1&inheritRedirect=true.

DOS SANTOS, M. F. N, ENOKIBARA M.; DE OLIVEIRA, E. L.; **Projeto e avaliação de custos de um sistema compacto de wetlands construídos para habitação social no município de Bauru-SP** – Simpósio Brasileiro Online de Gestão Urbana, 2019, ISBN: 978-85-68242-99-5, Disponível em: eventoanap.org.br/data/inscricoes/5028/form2875181236.pdf

ERCOLE, L. A. dos S.; **Sistema modular de gestão de águas residuárias domiciliares**: uma opção mais sustentável para a gestão de resíduos líquidos. 2003. 1992 p; Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/5529?show=full>

HOPPE FILHO, J. et al. **Degradação do concreto de uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) por ácido sulfúrico biogênico**. Rev. ALCONPAT, Mérida, v. 4, n. 2, p. 87-99, agosto 2014. Disponível em <https://doi.org/10.21041/ra.v4i2.63>.

OLIVEIRA, B. R. C.; **Tratamento de esgotos: proposta de projeto mais sustentável**, 2013. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Civil, Porto Alegre. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/78207#>

OLIVEIRA, D. C. S.; AZEVEDO, P. G. F.; CAVALCANTI, L. A. P.; **Processos biológicos para o tratamento de efluentes**: uma revisão integrativa. Rev. Bras. Gest. Amb. Sustent. [online]. 2021, vol. 8, n. 18, p. 397-415. ISSN 2359-1412. DOI: 10.21438/rbgas(2021)081826

PINTO, A. H.; **Remoção de turbidez em esgoto doméstico utilizando coagulante orgânico**, 2013. 27 folhas. Monografia (Especialização em Gestão Ambiental em

Municípios). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2013. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/artigo/remocao-de-turbidez-em-esgoto-domestico-utilizando-coagulante-organico/>

RESOLUÇÃO DO CONAMA Nº 430/2011 – “Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA”. <https://www.suape.pe.gov.br/pt/publicacoes/245-resolucao/185-conama-n-430-de-2011?layout=publicacoes>

SEZERINO, P.; SANTOS, M.; PELISSARI, C.; SANCHEZ, G. C.; PHILIPPI, L.; **Wetlands construídos horizontais aplicados no tratamento descentralizado de esgotos.** Revista Engenharia e Construção Civil, 2015. 2. 1-10.

SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil), 2019. Gerência Nacional Padronização e Normas Técnicas. Caixa Econômica Federal. **Relatórios de Insumos e Composições para o Estado de Santa Catarina.** Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx>.

SILVA, J. S.; **Remoção de matéria orgânica em tanque séptico com biomassa aderida.** 2018. 55p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). – Curso de Engenharia Ambiental – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2018, Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/3078>

SILVA, S. C.; BERNARDES, R. S. E RAMOS,; M. L. G.; **Remoção de matéria orgânica do esgoto em solo de wetland construído.** Engenharia Sanitaria e Ambiental. 2015, v. 20, n. 4, pp. 533-542. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522015020040075357>.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico da água residuárias:** introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Belo Horizonte: Editora da UFMG, 1995. v.1.