



unifaema

CENTRO UNIVERSITÁRIO FAEMA – UNIFAEMA

YOHANNA CAROLINA RODRIGUES DA SILVA

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA WETLANDS CONSTRUÍDO PARA
TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS DE UMA AGROINDÚSTRIA DE POLPA
DE FRUTAS NO MUNICÍPIO DE ARIQUEMES – RO**

**ARIQUEMES - RO
2024**

YOHANNA CAROLINA RODRIGUES DA SILVA

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA WETLANDS CONSTRUÍDO PARA
TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS DE UMA AGROINDÚSTRIA DE POLPA
DE FRUTAS NO MUNICÍPIO DE ARIQUEMES – RO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental e Sanitária do Centro Universitário FAEMA – UNIFAEMA como pré-requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador (a): Prof. Me. Felipe Cordeiro de Lima

**ARIQUEMES - RO
2024**

FICHA CATALOGRÁFICA
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S586d Silva, Yohanna Carolina Rodrigues da.

Dimensionamento de um sistema *Wetlands* construídos para tratamento de águas residuais de uma agroindústria de polpa de frutas no município de Ariquemes - RO. / Yohanna Carolina Rodrigues da Silva. Ariquemes, RO: Centro Universitário Faema – UNIFAEMA, 2024.

70 f. ; il.

Orientador: Prof. Me. Felipe Cordeiro de Lima.

Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária. – Centro Universitário Faema – UNIFAEMA, Ariquemes/RO, 2024.

1. *Wetlands*. 2. Dimensionamento. 3. Tratamento. 4. Efluentes. 5. Ariquemes. I. Título. II. Lima, Felipe Cordeiro de.

CDD 628

Bibliotecária Responsável

Isabelle da Silva Souza

CRB 1148/11

YOHANNA CAROLINA RODRIGUES DA SILVA

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA WETLANDS CONSTRUÍDO PARA
TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS DE UMA AGROINDÚSTRIA DE POLPA
DE FRUTAS NO MUNICÍPIO DE ARIQUEMES – RO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental e Sanitária do Centro Universitário FAEMA – UNIFAEMA como pré-requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador (a): Prof. Me. Felipe Cordeiro de Lima

BANCA EXAMINADORA

Assinado digitalmente por: FELIPE CORDEIRO DE LIMA
Razão: Sou responsável pelo documento
Localização: UNIFAEMA - Ariquemes/RO

Prof. Me. Felipe Cordeiro de Lima
Centro Universitário Faema - UNIFAEMA

Assinado digitalmente por: JOANI
PAULUS COVALESKI
O tempo: 27-11-2024 20:21:48

Prof. Me. Joani Paulus Covaleski
Centro Universitário Faema - UNIFAEMA

Documento assinado digitalmente
 LETICIA MORSCH
Data: 27/11/2024 16:44:14-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Leticia Morsch
Centro Universitário Faema - UNIFAEMA

**ARIQUEMES – RO
2024**

Em memória de Onofre Rodrigues de Lima e José Pereira da Silva, meus avós queridos, que sempre acreditaram em meus sonhos. A alegria de realizar este trabalho é um presente para suas almas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, meu melhor orientador e amigo, por me guiar, me dar forças para suportar os medos e angústias, e por me sustentar nos momentos em que pensei em desistir.

Aos meus pais, Adir Pereira da Silva e Luciana Rodrigues de Lima, minha mais profunda gratidão. Vocês abdicaram de oito anos de suas vidas em completa dedicação para que eu chegasse até aqui. Muito obrigada por todo o amor, apoio e sacrifício.

À minha avó, Lina Rocha Lima, pelo apoio incondicional durante todos esses anos, sou imensamente grata.

A Layon Mauro, um dos meus maiores incentivadores, que virou noites, sábados e domingos ao meu lado, ajudando-me em cada etapa. Sua dedicação fez toda a diferença.

Agradeço ao meu orientador e professor Felipe Cordeiro de Lima, por toda a paciência e dedicação ao longo desses anos, sempre me guiando com sabedoria para que eu aprendesse e alcançasse este momento.

Aos professores Philippe Thiago Ferreira Costa e Taline Canto Tristão, que, mesmo sem saberem, foram essenciais nos momentos acadêmicos mais difíceis da reta final, motivando-me a continuar e não desistir.

Por fim, minha eterna gratidão à minha irmã Yhanna Celina, que esteve ao meu lado durante todo esse período, dentro e fora das salas de aula, sempre me apoiando e sendo minha dupla acadêmica.

A todos, familiares e professores o meu mais sincero e profundo obrigada!

*Na vida não existe nada a temer, mas
a entender.*

– Marie Curie.

RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo dimensionar um sistema de Wetlands Construídos de fluxo subsuperficial horizontal para tratar efluentes gerados em uma agroindústria de polpa de frutas congeladas, localizada em área rural. A coleta de dados incluiu visitas à agroindústria, entrevistas com os proprietários e análise documental dos processos de produção e consumo de água. A metodologia foi fundamentada na revisão de literatura sobre tratamentos de efluentes utilizando wetlands, com destaque para os estudos de Marcos Von Sperling e Pablo H. Sezerino. O dimensionamento do sistema foi realizado com base na cinética de primeira ordem, amplamente utilizada no tratamento de efluentes com baixa carga orgânica, visando garantir a eficiência do tratamento e a viabilidade prática para a agroindústria em estudo. Os resultados indicaram que, para o volume e características dos efluentes, o sistema projetado apresentou um tempo de detenção hidráulica adequado e um meio de suporte com porosidade de 35%, demonstrando a viabilidade técnica e ambiental da solução proposta.

Palavras-chave: Wetlands; Dimensionamento; Tratamento; Efluentes; Ariquemes.

ABSTRACT

This research aimed to design a system of Constructed Wetlands with horizontal subsurface flow to treat effluents generated in a frozen fruit pulp agroindustry, located in a rural area. Data collection included visits to the agroindustry, interviews with owners and documentary analysis of water production and consumption processes. The methodology was based on a literature review on effluent treatments using wetlands, with emphasis on studies by Marcos Von Sperling and Pablo H. Sezerino. The sizing of the system was carried out based on first-order kinetics, widely used in the treatment of effluents with low organic load, aiming to guarantee treatment efficiency and practical viability for the agroindustry under study. The results indicated that, for the volume and characteristics of the effluents, the designed system presented an adequate hydraulic detention time and a support medium with porosity of 35%, demonstrating the technical and environmental feasibility of the proposed solution.

Keywords: Wetlands; Sizing; Treatment; Effluents; Ariqueemes.

LISTA DE SIGLAS

WCHSS	Wetlands Construído De Fluxo Horizontal Subsuperficial
WCH	Wetlands Construídos Horizontais
WCV	Wetlands Construídos Vertical
WCFH	Wetlands Construídos de Fluxo Horizontal
WCFSS	Wetlands Construído De Fluxo Subsuperficial
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
BPF	Boas Práticas de Fabricação
PPHO	Procedimentos Padrões de Higiene Operacional
APPCC	Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle
SENAR	Serviço Nacional de Aprendizagem Rural
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
DBO	Demanda biológica de oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
WC	Wetlands Construídos
TDH	Tempo De Detenção Hidráulico
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFMS	Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
CEFET-MG	Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	JUSTIFICATIVA.....	14
1.2	OBJETIVOS	14
1.2.1	Geral	14
1.2.2	Específicos	14
1.2.3	Hipótese	15
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	AGROINDÚSTRIA DE POLPA DE FRUTAS CONGELADA	15
2.1.1	Higiene Da Matéria Prima.....	16
2.1.2	Processo de Produção de Polpa de Fruta	17
2.1.3	Limpeza e Desinfecção Da Agroindústria	19
2.2	CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS (ÁGUA CINZA).....	20
2.2.1	Águas residuárias Geradas na produção da polpa de fruta	21
2.3	VAZÃO INDUSTRIAL.....	23
2.4	MÉTODOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES/ÁGUAS RESIDUÁRIAS (ÁGUA CINZA)	24
2.5	WETLANDS CONSTRUÍDOS.....	26
2.5.1	Classificação dos Wetlands Construídos.....	27
2.5.2	Macrófitas	31
2.5.3	Wetlands Construídos de Escoamento Horizontal.....	33
2.5.4	Wetlands Construídos de Escoamento Vertical	35
2.5.5	Fatores que Influenciam a Eficiência do Tratamento com WC.....	37
2.6	ESTUDOS DE DIMENSIONAMENTOS EXPLORADOS	39
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	44
3.1	PROCEDIMENTOS TÉCNICOS.....	44
3.1.1	Da coleta de dados	44
3.1.2	Da análise dos dados.....	45
3.1.3	Metodologia de dimensionamento adotada.....	46
4	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DA PESQUISA	49
4.1	ESTUDO DE CASO	49
4.2	OBTENÇÃO DE DADOS PARA O DIMENSIONAMENTO.....	49
4.2.1	Obtenção da vazão.....	49

4.2.2	Obtenção da Constantes de reação (K20) em WCHSS.....	51
4.2.3	Obtenção da temperatura.....	52
4.2.4	Obtenção da concentração de DBO afluente e efluente.....	54
4.3	DIMENSIONAMENTO	54
4.5	COMPONENTES DO SISTEMA DIMENSIONADO	57
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
	REFERÊNCIAS	60
	APÊNDICE A – LAYOUT DE VISTA LATERAL DO DIMENSIOANMENTO DO WETLANDS CONSTRUIDO	69
	APÊNDICE B – LAYOUT DE VISTA FRONTAL DO DIMENSIOANMENTO DO WETLANDS CONSTRUIDO	70
	APÊNDICE C – LAYOUT DE VISTA SUPERIOR DO DIMENSIOANMENTO DO WETLANDS CONSTRUIDO	71

1 INTRODUÇÃO

Castro e Cerezini (2023) enfatiza em seu estudo que o saneamento básico na área rural é essencial para a qualidade de vida e a saúde da população. De acordo com o Plano Nacional de Saneamento Rural (Funasa, 2019) compreende-se que comunidades rurais frequentemente enfrentam desafios na implementação de sistemas eficazes devido à falta de infraestrutura e recursos. Garantir a potabilidade da água é essencial para prevenir contaminações, enquanto o tratamento de efluentes é vital para evitar a poluição do solo e dos recursos hídricos. Soluções inovadoras e sustentáveis, como fossas sépticas biodigestoras, jardins filtrantes e sistemas de tratamento aeróbios, são fundamentais para atender às necessidades dessas comunidades (Silva, 2014).

A agroindústria familiar desempenha um papel significativo na economia rural, promovendo o desenvolvimento sustentável e gerando renda para pequenos produtores (Istan *et al.*, 2015). Com investimentos em tecnologia e capacitação, essas indústrias podem fortalecer suas atividades, gerar empregos e contribuir para o desenvolvimento socioeconômico das comunidades rurais. Nesse cenário, a agroindústria familiar destaca-se na diversificação da produção e preservação da biodiversidade (Quintino; Passos; Moret, 2017).

O tratamento de efluentes em agroindústrias rurais é crucial para mitigar impactos ambientais, melhorar a saúde pública e garantir a viabilidade econômica. O Wetlands Construído, também chamados de “jardins filtrantes”, são sistemas artificiais que simulam os processos naturais de áreas alagadas. Compostos por filtros e plantas aquáticas, esses sistemas promovem interações entre solo, água e organismos, destacando-se como uma solução sustentável eficiente, assim partindo de processos naturais de purificação, com baixo custo operacional e promovendo a biodiversidade (Cáspar, 2020). Posto isso, atenta-se que sua adoção beneficia a qualidade da água, a saúde pública e o desenvolvimento das comunidades rurais.

Esta pesquisa tem como objetivo dimensionar um sistema de Wetlands Construídos para tratar as águas residuais de uma agroindústria de polpa de frutas congeladas localizada a 42 km do centro urbano de Ariquemes/RO. O estudo abrange a análise e o dimensionamento de um sistema de tratamento que utiliza processos naturais de filtração e purificação da água, atendendo às demandas específicas da agroindústria. O problema identificado é a ausência de um tratamento eficiente para minimizar os impactos ambientais, garantir a conformidade com

as normas vigentes e viabilizar o reuso da água tratada na irrigação de bananeiras na propriedade em estudo.

1.1 JUSTIFICATIVA

O dimensionamento de sistemas de tratamento de efluentes é essencial para a preservação ambiental e a sustentabilidade das atividades industriais. Esses sistemas de águas residuárias preservam os recursos hídricos, reduzem a poluição e melhoram a qualidade da água.

No contexto da agroindústria de polpas de frutas na zona rural de Ariquemes - RO, é necessário um tratamento adequado das águas residuárias para atender às normas ambientais e minimizar o impacto ambiental da atividade.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Geral

Dimensionar um sistema wetland construído de fluxo horizontal subsuperficial, para uma agroindústria de polpa de frutas congeladas a fim de atender os critérios de tratamento de efluentes da agroindústria alimentícia em área rural.

1.2.2 Específicos

- Verificar através da literatura melhor modelo de sistema de Wetlands Construído para o estudo de caso;
- Estimar a composição e o volume das águas residuárias geradas no processo de produção de polpa de frutas congeladas, identificando os principais poluentes presentes;
- Dimensionar um Wetlands Construído, levando em conta a vazão de água a ser tratada e a área disponível para implantação do sistema;
- Identificar a constante de reação da cinética de primeira ordem para a temperatura local;
- Apresentação do dimensionamento por meio do layout.

1.2.3 Hipótese

A implementação de um sistema de Wetlands Construído de fluxo horizontal subsuperficial (WCHSS) para o tratamento das águas residuárias de uma agroindústria de polpa de frutas congeladas em uma área rural de Ariquemes – RO, é capaz de proporcionar um tratamento adequado dos efluentes, atendendo às normas ambientais e melhorando a qualidade da água para reuso na irrigação. Este sistema, ao utilizar processos naturais de filtração e purificação, reduzirá significativamente a carga poluente, promoverá a biodiversidade local e contribuirá para a sustentabilidade ambiental e econômica da agroindústria.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 AGROINDÚSTRIA DE POLPA DE FRUTAS CONGELADA

O setor das agroindústrias de polpa de frutas congeladas se destaca como uma opção lucrativa e prática para a gestão do excedente de frutas durante a safra, quando os preços costumam cair. Este processo permite o armazenamento das frutas para venda durante a entressafra e possibilita o uso de frutas que não atendem aos padrões de comercialização da fruta in natura. Embora a produção de polpa de fruta congelada tenha começado na região nordeste, ela se expandiu rapidamente por todo o território nacional. Apesar da presença de grandes indústrias, o setor é predominantemente formado por micro e pequenas empresas, e continua a crescer, apresentando um grande potencial de mercado (Bomfim, 2016).

Para o sucesso de um empreendimento agroindustrial, é essencial um planejamento que atenda aos requisitos técnicos de construção, garantindo a conformidade com normas sanitárias e ambientais, além de ser economicamente viável. Avaliar a relação custo-benefício dos recursos investidos na construção e aquisição de equipamentos é essencial. O suco feito a partir das polpas de frutas é uma tradição na mesa dos brasileiros, oferecendo uma opção refrescante, saborosa e saudável, devido à preservação das propriedades nutricionais durante o armazenamento. Além dos sucos, as polpas podem ser usadas em diversos produtos, como mousses, sorvetes e geleias.

Conforme destacado pela Secretaria de Estado de Agricultura do Governo de Rondônia (2021), a produção de polpa de fruta congelada, que começou no nordeste, expandiu-se para todo o Brasil, alcançando também a região Norte. Em Rondônia, 74 agroindústrias estão ativas, operando em pequenos empreendimentos rurais com o apoio da mão-de-obra da agricultura familiar, e têm ganhado relevância tanto no mercado regional quanto no nacional.

O processo de produção de polpa de fruta envolve diversas etapas, incluindo lavagem, seleção, corte, descascamento, desintegração, despulpamento, acondicionamento, congelamento e armazenamento, todas destinadas a garantir a qualidade do produto. Os equipamentos essenciais para uma agroindústria de polpas incluem freezers, despulpadoras, dosadoras, mesas de seleção em aço inox, tanques de recebimento e lavagem, embaladeiras automáticas e liquidificadores industriais.

2.1.1 Higiene da matéria prima

De acordo com o Manual de Boas Práticas de Fabricação de Polpa de Fruta Congelada da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) por Bastos *et al* (1999), as boas práticas de higiene são essenciais para garantir a qualidade satisfatória da polpa de fruta. Esse aspecto é também regulamentado pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) através da RDC 216/2004, que estabelece as Boas Práticas de Higiene na manipulação de alimentos.

As frutas utilizadas na produção de polpas devem atender a padrões rigorosos de qualidade, considerando suas características químicas, físicas e biológicas. Por serem alimentos perecíveis, as frutas têm uma vida útil limitada, exigindo um tratamento pós-colheita adequado. Normalmente, as frutas são destinadas ao consumo fresco ou ao processamento em polpas, sucos e doces. Portanto, para manter a qualidade das frutas destinadas à produção de polpa, é fundamental seguir uma série de cuidados específicos (Bastos *et al.*, 1999).

Primeiramente, é importante colher as frutas com cuidado para garantir que permaneçam íntegras. A visita técnica aos fornecedores pode ajudar a assegurar essa integridade. Deve-se evitar a queda das frutas para prevenir danos mecânicos e não utilizar carbureto para acelerar o amadurecimento. Frutas encontradas no chão devem ser descartadas, pois podem estar contaminadas e danificadas, o que se refere ao controle sensorial (Bastos *et al.*, 1999).

Antes do processamento, as frutas devem ser lavadas com água corrente e armazenadas em caixas de plástico em um local fresco. O transporte deve ser realizado em horários mais frescos ou em veículos refrigerados, com atenção ao estado sanitário do veículo. Após a lavagem, as frutas devem ser imersas em água clorada e refrigeradas até o processamento.

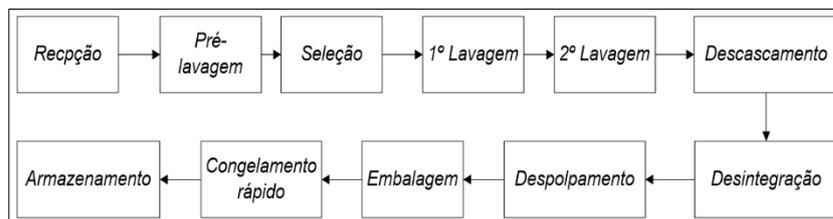
Frutas descartadas devem ser removidas imediatamente da área de produção para evitar a atração de insetos (RDC nº 216/2004).

Para garantir a segurança alimentar, o estabelecimento de processamento de polpa deve ter áreas distintas para a recepção das frutas, o processamento e o armazenamento, a fim de prevenir a contaminação cruzada. Além disso, todos os funcionários devem seguir rigorosamente o protocolo de higienização, lavando as mãos conforme o plano de higienização, especialmente entre cada etapa do processo (RDC nº 216/2004; Bastos *et al.*, 1999).

2.1.2 Processo de produção de polpa de fruta

O manual de boas práticas de fabricação de polpa de fruta congelada, da Embrapa relata sobre a preparação das polpas que deve ser realizada por profissionais qualificados e supervisionada por técnicos competentes. Todas as etapas do processo de produção, incluindo a embalagem, devem ser executadas com agilidade e em condições que previnam qualquer risco de contaminação, deterioração ou crescimento de microrganismos patogênicos. Os recipientes devem ser manuseados com cuidado para evitar contaminação do produto. Os métodos de conservação e os controles devem assegurar a proteção contra contaminação, riscos à saúde pública e deterioração, conforme os padrões de prática comercial adequada. Todos os ambientes refrigerados devem estar equipados com termômetros ou dispositivos de registro de temperatura para garantir uma temperatura uniforme durante o armazenamento das matérias-primas e processos industriais (Bastos *et al.*, 1999). A seguir, na figura 1 é apresentado a sequência realizada para o procedimento adequado da execução precisa do processamento da polpa congelada, seguida do esclarecimento de cada etapa:

Figura 1 – Esquema de processamento da polpa de fruta



Fonte: Bastos *et al.*, 1999

- **Recepção:** Ao chegar à indústria, as frutas devem ser pesadas e avaliadas quanto à qualidade, levando em consideração o grau de maturação, o teor de açúcar (brix) e a

cor. É fundamental orientar produtores e fornecedores sobre as condições ideais de transporte e colheita para preservar a qualidade das frutas. Recomenda-se processar as frutas em até 12 horas após a colheita.

- **Pré-lavagem:** A primeira etapa de lavagem remove sujeiras superficiais das frutas em tanques com água limpa, sem cloração. Os tanques devem ser preferencialmente de aço inox, mantidos limpos e usados exclusivamente para esse fim.
- **Seleção:** As frutas devem ser escolhidas com base no grau de maturação e integridade física, descartando as inadequadas. A seleção deve ser feita em bancadas ou mesas bem iluminadas.
- **1ª Lavagem:** Após a seleção, as frutas devem passar por uma segunda lavagem em um tanque com cloro ativo por um tempo específico.
- **2ª Lavagem:** As frutas selecionadas devem ser enxaguadas em outro tanque com água limpa e cloro ativo por um tempo determinado.
- **Descascamento:** Esta etapa manual é realizada para frutas como maracujá, mamão e abacaxi, preparando-as para a desintegração.
- **Desintegração:** Frutas de consistência firme, como caju, devem ser desintegradas em cilindros com facas rotativas ou em liquidificador industrial para facilitar o despulpamento.
- **Despulpamento:** A separação da polpa do material fibroso, casca e sementes é feita em despulpadeiras com tela de aço inox, borracha sintética ou escovas de náilon.
- **Refinamento:** Nesta etapa, partículas grosseiras são removidas da polpa para proporcionar um aspecto homogêneo ao produto.
- **Branqueamento:** Processo opcional para remover oxigênio incorporado na etapa de despulpamento. É essencial para preservar cor, sabor e aroma, e pode ser realizado aquecendo a polpa em tacho.
- **Resfriamento:** A polpa pasteurizada deve ser resfriada rapidamente a temperaturas abaixo de 5°C para manter sua qualidade e evitar alterações indesejáveis.
- **Embalagem:** A polpa deve ser acondicionada em embalagens plásticas resistentes que não alterem sabor ou aroma. É essencial expulsar o ar do recipiente e verificar a integridade da embalagem após o fechamento.
- **Congelamento:** A polpa embalada deve ser congelada rapidamente em equipamentos adequados para garantir sua preservação. Os lotes devem ser identificados por tipo de fruta e data de fabricação.

- **Armazenamento:** A polpa congelada deve ser armazenada a -18°C por até seis meses, mantendo uma temperatura constante para evitar perda de qualidade. É importante controlar a umidade durante o armazenamento congelado.

2.1.3 Limpeza e desinfecção da agroindústria

De acordo com as portarias nº 1428 e 326 do Ministério da Saúde, datadas de 26 de dezembro de 1993 e 30 de julho de 1997, é essencial que cada empresa do setor alimentício estabeleça critérios rigorosos para a implementação das Boas Práticas de Fabricação (BPF). A apostila de Boas Práticas do SENAR apresenta que as BPF e os Procedimentos Padrões de Higiene Operacional (PPHO) são fundamentais como requisitos preliminares para o sistema de Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle (APPCC), formando a base para a gestão da segurança e qualidade em empresas de alimentos. Os programas de pré-requisitos, como as BPF e o PPHO, são indispensáveis, pois simplificam e viabilizam a aplicação do APPCC. Além do programa de Boas Práticas de Fabricação, é importante considerar que o FDA (*Food and Drug Administration*) e o USDA (*United States Department of Agriculture*) requerem o SSOP (*Sanitation Standard Operating Procedure*), conhecido no Brasil como PPHO.

A produção de polpas de frutas envolve o uso de equipamentos essenciais, como despoldadeiras, homogeneizadores, prensas, envasadoras e seladoras (automáticas ou semiautomáticas), além de utensílios como facas, baldes, tanques e colheres. Freezers, câmaras e outros tipos de congeladores específicos para esses produtos também são cruciais no processo de fabricação.

A higienização das áreas de produção, equipamentos, móveis e utensílios deve ser realizada antes e após as atividades, bem como sempre que houver suspeita de contaminação. As áreas de preparação de alimentos devem ser limpas imediatamente após a conclusão do trabalho, conforme recomendado pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (SENAR). Além disso, a higienização deve ser realizada sempre que houver mudança no tipo de produto a ser processado.

Os produtos sanitizantes utilizados devem ser aprovados pelo Ministério da Saúde e armazenados em locais específicos. É proibido o uso de produtos odorizantes em áreas de manipulação de alimentos. A diluição e o tempo de contato dos produtos sanitizantes devem seguir as instruções do fabricante. Utensílios distintos devem ser usados para a higienização de

instalações, partes dos equipamentos e superfícies em contato com alimentos, para evitar a contaminação dos produtos durante a limpeza.

Para o processamento de polpas de frutas, recomenda-se seguir o programa de higiene detalhado pela Embrapa em seu manual, que inclui a determinação da concentração de cloro para os diferentes pontos de possível contaminação, além dos procedimentos específicos para limpeza e desinfecção. A seguir é apresentada na tabela 1 o tempo e concentração de cloro para a limpeza, controle de higiene e desinfecção da estrutura, equipamentos e mãos:

Tabela 1 – Concentração de cloro e tempo de contato para aplicações na sanitização.

Aplicação	Concentração de cloro (ppm)	Tempo de contato (min)
Mãos (imersão)	25	1
Tubulações	100	15
Pisos	200	15
Azulejos	200	15
Equipamentos	200	15
Recipientes	200	15
Ambiente (borrifos)	100	15
Frutas	5-15 / 0,5	15/5

Fonte: manual de boas práticas de fabricação de polpa de fruta congelada (Embrapa, 1999)

2.2 CARACTERÍSTICAS DAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS (ÁGUA CINZA)

As águas cinzas são águas servidas originadas de diferentes pontos de uso dentro de um edifício, com exceção das águas residuais provenientes do vaso sanitário. Sua composição varia conforme a origem, apresentando características distintas. O poluente mais relevante nas águas cinzas é o sabão em pó, especialmente aqueles com alto teor de sódio e fósforo (Oliveira, 2015). Begosso (2009) descreve a água cinza como o resíduo proveniente de lavatórios, chuveiros, banheiras, pias de cozinha, máquinas de lavar roupa e tanques, contendo vestígios de sabão e outros produtos de limpeza e higiene.

As características das águas cinzas, em termos de quantidade e composição, variam dependendo da localização, do número de pessoas na residência, da faixa etária, estilo de vida, classe social, costumes locais e tipo de fonte de água cinza. Em comparação com a água residuária comum de sistemas de água transportados, a água cinza geralmente contém baixos níveis de nutrientes. Teixeira (2018) identifica em seus estudos que as águas cinzas são uma opção vantajosa para reuso devido ao seu elevado volume e baixa concentração de nutrientes e matéria orgânica degradável. No entanto, antes de ser reutilizada, a água cinza requer

tratamento devido à possível presença de microrganismos patogênicos, sólidos suspensos, compostos orgânicos - especialmente se provenientes de pias de cozinha - e substâncias como óleos, gorduras, detergentes e outros produtos químicos domésticos.

Normalmente, as águas cinzas contêm uma quantidade considerável de sólidos em suspensão, visível pela turbidez e concentração de sólidos totais suspensos. Esses materiais em suspensão, como restos de alimentos e fibras de tecidos, não só conferem uma aparência desagradável ao efluente, mas também servem como ambiente propício para microrganismos, podendo resultar na rejeição por parte dos usuários em caso de reuso sem tratamento. A presença de sólidos na água pode ocasionar obstruções nas tubulações, sendo agravada pela presença de detergentes, pois os colóides, combinados com surfactantes dos detergentes, estabilizam a fase sólida devido à adsorção do surfactante na superfície do sólido.

De acordo com Von Sperling (2014), a diversidade significativa na composição das águas cinzas é explicada pelo tipo de processo industrial utilizado, a idade tanto da indústria quanto dos equipamentos na linha de produção, a implementação de práticas de conservação, a reutilização de compostos, entre outros fatores. Por isso, é sempre recomendado obter informações concretas diretamente das indústrias em análise, por meio de questionários, medições, amostragens e análises, em vez de confiar apenas em dados genéricos da literatura. Durante as medições e amostragens, é essencial realizar medições de fluxo e coletar amostras compostas ao longo do turno de operação para garantir a representatividade máxima dos dados coletados.

Em consonância com Fugita (2018) no estudo de "Fundamentos do Controle de Poluição das Águas", os fatores de emissão indicam o potencial poluente de uma indústria e podem se referir à quantidade de efluente ou carga orgânica liberada com base na matéria-prima utilizada ou na produção industrial. Durante as décadas de 80 e 90, a CETESB produziu notas técnicas abordando diversos setores industriais, fornecendo informações sobre os processos industriais e suas fontes de poluição. A CETESB apresenta para a indústria cítrica um Fator de Emissão de 2 kg DBO/base.

2.2.1 Águas residuárias geradas na produção da polpa de fruta

Os resíduos líquidos provenientes das indústrias alimentícias podem causar danos ambientais significativos se descartados de forma inadequada, principalmente devido às altas

concentrações de matéria orgânica, nutrientes e sólidos em suspensão presentes nos efluentes. É essencial que essa água residual passe por um tratamento adequado antes de ser descartada.

Em acordo com a empresa TECMA (2019), os efluentes das indústrias de sucos são compostos por resíduos orgânicos, como restos de frutas, óleos essenciais das cascas, defensivos agrícolas, e águas usadas na limpeza com vestígios de suco, cascas, caroços e sementes. Esses contaminantes incluem corantes naturais, pesticidas e produtos químicos utilizados na higienização. A avaliação desses efluentes é realizada por meio de parâmetros como a Demanda Química de Oxigênio (DQO) e a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).

Para as águas residuais geradas por uma empresa de suco de frutas, é essencial realizar um tratamento adequado para atender aos regulamentos de descarte em corpos d'água ou possibilitar a reutilização em práticas agrícolas. Métodos de tratamento biológico são considerados uma opção eficaz para tratar resíduos líquidos orgânicos, como os provenientes das indústrias de processamento de suco de frutas. Esses efluentes são caracterizados principalmente pelo pH ácido e alto teor de matéria orgânica (Barros, 2017).

Machado (2019) relata que o processo de produção de sucos gera uma quantidade significativa de efluentes, pois demanda grande quantidade de água em etapas como a lavagem das frutas, pisos e equipamentos, e no armazenamento de resíduos de frutas. Além da matéria orgânica, esses efluentes contêm substâncias inorgânicas como metais, nitratos, nitritos, sais de amônia e sulfetos. Os detergentes utilizados no processo contêm nitrogênio e fósforo, que, embora essenciais para a vida, em excesso podem causar desequilíbrios ambientais.

Para escolher o tratamento mais adequado para cada tipo de resíduo, é essencial caracterizar os efluentes industriais, pois podem apresentar variações significativas, mesmo entre indústrias do mesmo setor, devido à diversidade das matérias-primas utilizadas na produção.

Na tabela 2 a seguir é sintetizada a caracterização das águas residuárias provenientes do processamento das indústrias que trabalham com a polpa de fruta, conforme a literatura:

Tabela 2 – Caracterização dos efluentes

AUTOR	ESTUDO	PARAMETRO	VALOR
BARROS, 2017	Remoção de carga orgânica do efluente da agroindústria da Acerola (<i>Malpighia Emarginata</i> D.C.) em reator UASB	DQO	124.362 mg L ⁻¹
		Nitrogênio Amoniacal	5.250 mg L ⁻¹
		Fósforo	208,3 mg L ⁻¹

		Sólidos Totais	277.981,67 mg L ⁻¹
		Sólidos Totais Voláteis	265.843,33 mg L ⁻¹
<i>FEIO, 2016</i>	Verificação da tratabilidade de água residuária oriunda de Beneficiamento do açaí por processo físico-químico	pH	5,3 - 5,5
		DBO	823 ± 40 mg/l
		DQO	7720 ± 500 mg/l
		N-amoniacoal	2,65 ± 0,3 mg/l
		Fósforo Total	2,5 ± 0,3 mg/l
<i>SILVA, 2022</i>	Avaliação de efluentes citrícolas na geração de biohidrogênio e coprodutos de valor agregado em reatores anaeróbios em batelada	Temperatura	35 °C
		pH	11,12
		DQO	22,40 g L ⁻¹
		Carboidratos Totais	6,22 g L ⁻¹
		Sólidos Totais	8,2 g L ⁻¹
		Sólidos Voláteis	4,5 g L ⁻¹
		Ácido Acético	113,6 mg L ⁻¹
Ácido Butírico	8,2 mg L ⁻¹		
<i>Lemos, 2017</i>	Tratamento de Efluentes da Indústria de Sucos	DBO	2319,30 mg/L O ₂
		DQO	3220,90 mg/L O ₂
		Sólidos Sedimentáveis	70,00 ml/L
		Surfactantes	0,16 mg/L
		Sulfeto Total	< 0,10 mg/L
		Óleos e Graxas	285,20 mg/L
		Sólidos Suspensos Totais	870,00 mg/L
<i>Machado, 2019</i>	Tratamento dos efluentes líquidos gerados pelas indústrias de sucos no brasil	pH	6,12
		pH	4,7
		DQO	1.000 mgO ₂ /L
		DBO	650 mgO ₂ /L

Fonte: Próprio Autor (Yohanna 2024)

2.3 VAZÃO INDUSTRIAL

A quantidade de águas residuais industriais está diretamente relacionada ao tipo e tamanho da indústria, ao processo de produção, ao nível de reciclagem, à implementação de práticas de conservação da água, à presença de pré-tratamento, entre outros fatores. Portanto, mesmo em situações em que duas indústrias produzem essencialmente o mesmo produto, os volumes de efluentes gerados podem variar significativamente.

Quando indústrias significativas despejam seus efluentes na rede pública e, conseqüentemente, na estação de tratamento, é expressivo realizar uma avaliação precisa dos volumes envolvidos. Os efluentes industriais podem impactar significativamente o projeto e a operação da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE). Assim, é essencial obter informações específicas de cada indústria relevante, através de registros detalhados que forneçam dados essenciais para o planejamento.

Em relação ao consumo de água e à produção de efluentes, é fundamental obter, no mínimo, as seguintes informações das principais indústrias:

- **Consumo de água:** volume total consumido (por dia ou mês), quantidade consumida em diferentes etapas do processo, recirculação interna, fonte de água (rede pública, poços etc.), e possíveis sistemas internos de tratamento da água.
- **Produção de efluentes:** volume total, número de pontos de descarga (com a respectiva etapa do processo associada a cada ponto), modo de descarga (contínuo ou intermitente; duração e frequência) de cada ponto de descarga, locais de descarga (rede de esgoto, curso d'água), e possível mistura dos efluentes com esgoto doméstico e águas pluviais.

Adicionalmente, sempre que viável, é importante realizar medições do volume de efluente ao longo do período de funcionamento, a fim de registrar o padrão de descarga e suas flutuações. Na ausência de informações específicas da indústria, o quadro 2.13 apresentado por Von Sperling (2014) em sua obra pode servir como um ponto de partida para estimar a faixa provável de vazão de efluentes. Os valores são apresentados com base no consumo de água por unidade de produto fabricado. Por simplicidade, é possível considerar que o volume de esgoto seja equivalente ao consumo de água.

A seguir, na tabela 3 observa-se a vazão industrial específica média na indústria alimentícia para frutas e legumes:

Tabela 3 – Vazão industrial específica média

Ramo	Tipo	Unidade	Consumo de água por unidade (m ³ /unid.) (*)
alimentícia	Frutas e legumes em conserva	1 ton. conserva	4-50

Fonte: Adaptado Von Sperling (2014).

2.4 MÉTODOS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES/ÁGUAS RESIDUÁRIAS (ÁGUA CINZA)

O tratamento de efluentes desempenha um papel essencial na preservação do meio ambiente, evitando a contaminação de recursos hídricos e protegendo a saúde pública. No Brasil, a legislação ambiental referente ao tratamento de efluentes é abrangente e visa garantir a qualidade da água e a sustentabilidade dos ecossistemas. Destacam-se a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/97), que estabelece princípios e diretrizes para a gestão dos

recursos hídricos, e a Lei de Crimes Ambientais (Lei nº 9.605/98), que prevê penalidades para quem poluir o meio ambiente. Além disso, a Resolução CONAMA 430/2011 define os padrões de lançamento de efluentes líquidos em corpos d'água, estabelecendo limites máximos de concentração de substâncias poluentes. Por exemplo, indústrias alimentícias devem cumprir requisitos específicos para a emissão de efluentes, como limites de gordura e matéria orgânica.

Os níveis de tratamento de esgoto são divididos em quatro etapas principais: preliminar, primário, secundário e terciário, cada uma com o objetivo de remover diferentes tipos de poluentes e impurezas presentes nos efluentes. O Tratamento Preliminar inicia o processo ao remover materiais grosseiros e sólidos suspensos, utilizando métodos como gradeamento, desarenação e desgorduramento. O Tratamento Primário foca na remoção de sólidos em suspensão e parte da matéria orgânica, realizando a separação dos sólidos sedimentáveis em tanques de decantação, formando o lodo primário. No Tratamento Secundário, a matéria orgânica é biodegradada por microrganismos em ambientes aeróbios ou anaeróbios, que consomem a matéria orgânica, transformando-a em compostos mais estáveis como gás carbônico e água, reduzindo significativamente a carga orgânica dos efluentes. Por fim, o Tratamento Terciário é responsável por remover poluentes mais desafiadores, como nutrientes, patógenos e substâncias químicas, empregando processos avançados como filtração, adsorção, ozonização e desinfecção para assegurar a qualidade final dos efluentes tratados (Von Sperling, 2014).

Com relação aos métodos de tratamento de efluentes, existem duas abordagens principais: o Tratamento Físico-Químico e o Tratamento Biológico. No Tratamento Físico-Químico, a remoção de poluentes é feita por processos físicos, como filtração, sedimentação e adsorção, e químicos, como coagulação, floculação e oxidação. Este método é eficaz na remoção de sólidos suspensos, metais pesados e compostos orgânicos. Por outro lado, o Tratamento Biológico emprega microrganismos para degradar a matéria orgânica presente nos efluentes, convertendo-a em compostos mais simples e menos poluentes, sendo eficaz na remoção de poluentes orgânicos, como a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e a Demanda Química de Oxigênio (DQO) (Von Sperling, 2014).

Von Sperling (2014) apresenta em seu estudo dois modelos de sistemas de esgotamento sanitário: o sistema individual e o sistema coletivo. Os sistemas individuais são projetados para resolver questões localmente, sendo comumente utilizados para atender a uma única residência ou um pequeno grupo de habitações próximas. Consistem na disposição de excretas (em

sanitários individuais) ou dos esgotos (em fossas) gerados por uma ou algumas unidades habitacionais, geralmente envolvendo a infiltração no solo. Essa abordagem pode ser eficaz e econômica em áreas com baixa densidade populacional e quando o solo permite uma boa infiltração. Os sistemas coletivos, por outro lado, são recomendados para áreas com alta concentração de pessoas, como ambientes urbanos. Esta abordagem envolve o uso de redes de canalizações para coletar os esgotos e encaminhá-los adequadamente do ponto de origem até o destino, seguindo padrões sanitários.

2.5 WETLANDS CONSTRUÍDOS

A literatura brasileira utiliza diversos termos para se referir aos Wetlands Construídos, como "leitões cultivados", "jardins filtrantes", "terras úmidas construídas" e "filtros plantados com macrófitas". Esses sistemas são filtros, alagados ou não, compostos por uma zona de raízes que têm a função de remover matéria orgânica, nutrientes e compostos tóxicos, como metais pesados. Eles simulam ecossistemas naturais de pântanos, criando um ambiente propício para o tratamento secundário e otimizando a ciclagem de nutrientes em esgotos domésticos e efluentes industriais (SEZERINO et al., 2018).

Os Wetlands Construídos podem ser classificados com base no regime de escoamento e na direção do escoamento: superficial ou subsuperficial, com direções horizontais ou verticais. Esses sistemas, que podem ter lagoas ou canais rasos com até 1 metro de profundidade, são artificialmente manejáveis, ao contrário dos Wetlands naturais. Eles podem incluir camadas de argila, pedras de diferentes tamanhos, solo e outros materiais, dependendo do projeto do canal filtrante.

De acordo com Gorgoglione e Torretta (2018), esses sistemas criam um ambiente sem oxigênio, tanto na forma livre quanto combinada, promovendo a variabilidade no tratamento de diferentes tipos de efluentes. Isso ocorre devido à ação de oxidação dos efluentes e à variação entre ambientes aeróbios e anaeróbios, onde diversos tipos de microrganismos ajudam a reduzir macronutrientes e a adsorver substâncias químicas no substrato. O sistema radicular das plantas é responsável por remover a maioria dos sólidos suspensos por sedimentação ou adsorção (DEBUSK et al., 1989).

Conforme discutido até aqui, a imagem 1 a seguir ilustra o funcionamento desse tipo de sistema, no qual o efluente flui abaixo da superfície do leito filtrante. A imagem destaca como

o conjunto de plantas e o meio filtrante atuam em conjunto no tratamento, promovendo a interação do efluente com microrganismos e raízes para a remoção eficaz de poluentes.

Imagem 1 – Wetland Construído de fluxo subsuperficial



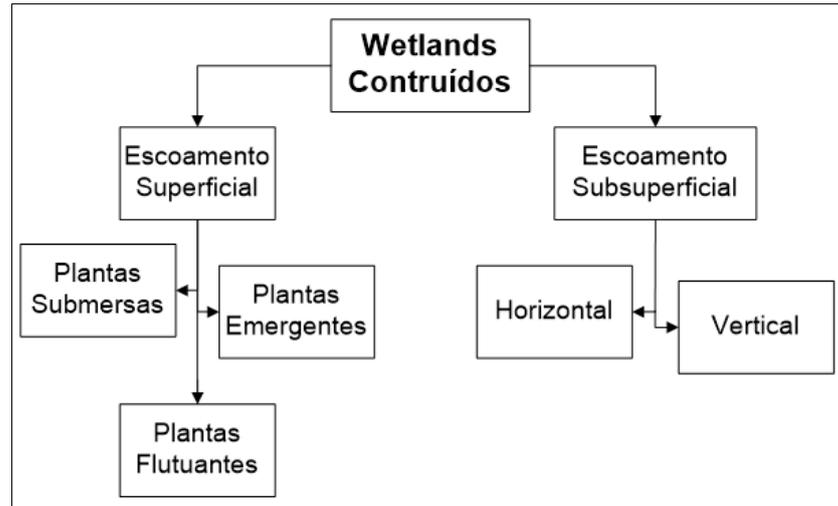
Fonte: Empresa Rotaria do Brasil em Florianópolis, 2024.

Os Wetlands Construídos são projetados de maneira abrangente, proporcionando flexibilidade na seleção do local de instalação, no dimensionamento e na escolha do regime hidráulico adequado. Esses sistemas utilizam processos naturais, envolvendo macrófitas, material filtrante e microrganismos, para tratar águas residuárias e reproduzir condições encontradas em áreas naturalmente alagadas (Santos, 2022).

2.5.1 Classificação dos Wetlands Construídos

A seguir na figura 2 – Demonstração da classificação de Wetlands Construídos ilustra a estrutura básica de classificação desses sistemas, separando-os em categorias de acordo com o regime, direção do escoamento e as diferentes formas de vegetação.

Figura 2 – Demonstração da classificação de Wetlands Construídos



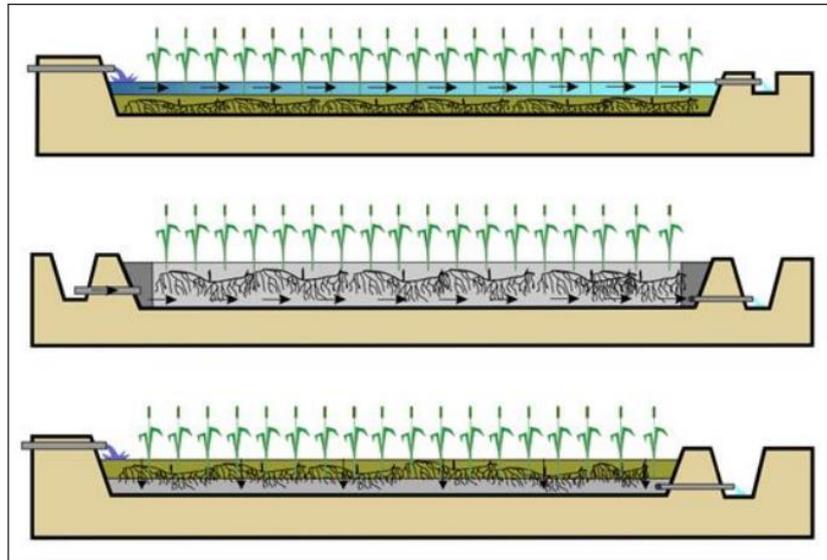
Fonte: Adaptado Rodrigues (2016).

Em seu livro Von Sperling (2014) descreve dois tipos de alagados construídos, essa divisão refere-se ao Escoamento superficial e Escoamento Subsuperficial.

Os sistemas estipulado com plantas flutuantes, contarão com uma espécie de plantas ou se adequado, um conjunto de espécies, comumente manuseadas em canais ou lagos propriamente rasos, ou seja, inferior a 1 metro de profundidade. Em conformidade com o Instituto *Terramax* a espécie mais explorada é a *Eichornia crassipes*, ela faz parte da família Pontederiáceas, ela possui características de resistência, abrangendo uma boa capacidade de crescimento vegetativo. No Brasil é mais conhecida como aguapé. Sua usabilidade é proveniente da sua capacidade de resistência em se manter em águas com um alto teor de poluição, variando de pH, metais pesados, temperatura e outros. Devido essas características seu uso é satisfatório em sistemas de purificação hídrica. Sua eficiência na remoção de sólidos em suspensão está fundamentada.

Sobre as esquematizações com plantas emergentes, se desenvolve possuindo uma conexão entre as plantas e a camada de solo, onde as folhas e caules ficam parcialmente submersos. As plantas emergentes utilizando esse tipo de conexão entre planta e solo, fazem parte da concepção de Wetlands mais próximo do natural. As espécies peculiares de macrófitas aquáticas emergentes são eminentes de forma abrangedora pelo nome de Juncos, plantas herbáceas de diversas famílias. As espécies mais empregadas nas propostas do Wetlands são as *Phragmites australis*, a *Typhay latifolia* e a *Scirpus lacustres*. A figura 3 a seguir apresenta uma breve esquematização do Wetlands Construído e macrófitas emergentes:

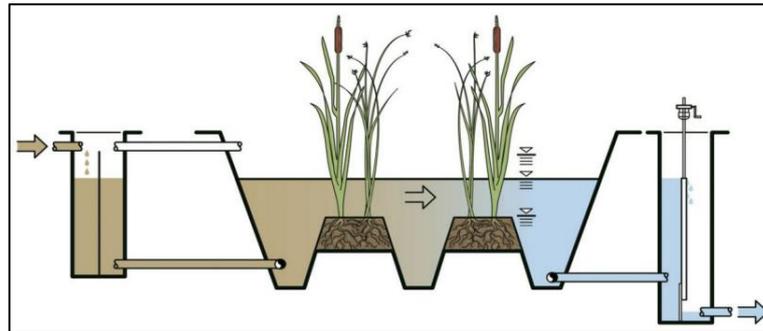
Figura 3 – Esquematização de Wetlands Construído com macrófitas aquáticas emergentes. (Fluxo superficial¹; fluxo subsuperficial²; de fluxo vertical³).



Fonte: Carvalho, Rebecca Vanielly (2018)

Em relação as maneiras de escoamento, o superficial é o mais próximo dos alagados naturais, por ter planta aquática flutuante ou enraizadas, diferente do subsuperficial que não contém água livre em sua superfície, ou seja, ele é composto por algumas camadas, que podem ser de pedras com tamanho pequeno, areia ou cascalho, em ambas as situações pode ser utilizada a planta *Typha*. No escoamento superficial a lâmina d'água está entre 0,6 e 0,9 m em área com vegetação, sujeito a profundidades até menos, a depender da planta, para áreas de água livre a medida é de 1,2 a 1,5 m o que torna adequado para receber efluentes de lagoas de estabilização. A figura 4 representa o escoamento superficial, sendo possível observar abaixo:

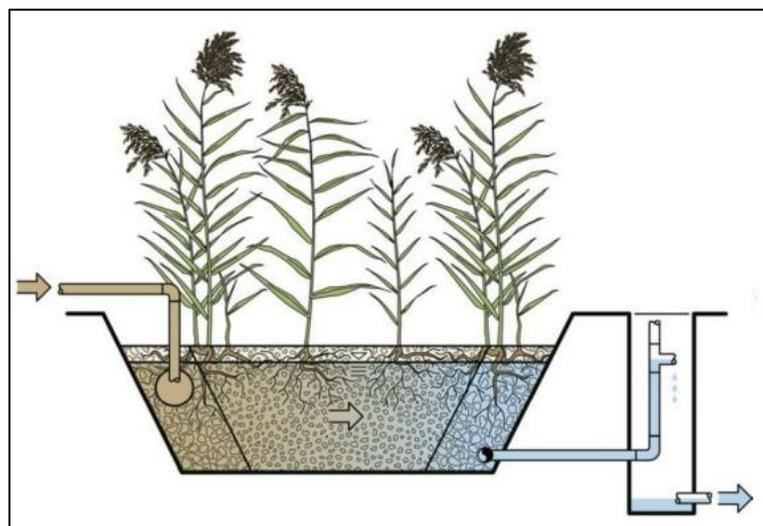
Figura 4 – Esquemática de Wetlands Construído com escoamento superficial



Fonte: Garcia (2019)

No escoamento subsuperficial as alturas já são diferenciadas, contendo uma altura para o canal de 0,4 a 0,6 m, com a água em um nível de 0,3 a 0,5 m, essa lamina de efluente não estará livre como no outro modelo, e esse é um fator que contribui para que haja um menor potencial no que se refere ao surgimento de odores, moscas e roedores, sendo então mais apropriados para coletar efluentes reatores anaeróbicos, tanques sépticos e outros, seguindo essa analogia estando voltado para volumes grandes de águas residuárias produzidas. O escoamento subsuperficial de fluxo horizontal pode ser compreendido na figura 5 abaixo:

Figura 5 – Esquemática de Wetlands Construído com escoamento subsuperficial horizontal



Fonte: Garcia (2019)

De modo objetivo, é apresentado na tabela 4 a seguir resultados presentes na literatura em relação ao fluxo de sistema, macrófitas, tempo de detenção hidráulico, nitrogênio amoniacal, fósforo total, demanda bioquímica de oxigênio e demanda química de oxigênio:

Tabela 4 – Resumo dos resultados de desempenho dos sistemas WC conforme literatura

Autor (Ano)	Fluxo	Macrófita	TDH (dia)	Remoção de Nitrogênio (%)	Remoção de Fósforo Total (%)	Remoção de DQO/DBO (%)
Calijuri et al. (2009)	Fluxo Horizontal superficial e subsuperficial	Typha sp. e Brachiaria arrecta	1,3 a 5,3	22 e 67	25 e 79	80
Dornelas et. al. 2009	Fluxo Horizontal	Typha latifolia	1,2	25	44	63
Kletecke (2011)	Fluxo Subsuperficial	Helicônia	1,2	10	8	39
	Fluxo Horizontal subsuperficial	Colocasia esculenta	1,1	11	8	2
Venske (2017)	Fluxo Horizontal subsuperficial	Zantedeschia aethiopica	2,4 e 6	Não informado	20	86
Elfanssi et al. (2018)	Fluxo vertical e Horizontal	Phragmites australis	2	67	62	91 e 93
He et al. (2018)	Fluxo vertical e Horizontal	Canna indica L., Juncus effusus L., and Scirpus validus Vahl	1 a 2,5	58	83	59

Fonte: Adaptado Leal, 2019.

2.5.2 Macrófitas

Kuriki (2020) destaca que as plantas desempenham um papel fundamental nos Wetlands Construídos, especialmente as macrófitas - plantas aquáticas. Elas têm uma função crucial na purificação da água, seja absorvendo poluentes ou adsorvendo-os em suas raízes. As macrófitas absorvem subprodutos da decomposição, como nitrogênio, fósforo e outros elementos, e fornecem substâncias e oxigênio aos decompositores. Elas são cultivadas em ambientes de transição entre sistemas aquáticos e terrestres, produzindo grandes quantidades de matéria seca rica em nutrientes, o que reflete a qualidade da água em que estão inseridas.

Conforme elucidado por Santos (2022), diversas macrófitas encontradas em wetlands naturais podem ser usadas em Wetlands Construídos (WC). Embora existam mais de 150 espécies de plantas com potencial para serem empregadas em sistemas de tratamento de esgoto, na prática, apenas algumas são utilizadas. As plantas usadas nesses sistemas são classificadas em quatro categorias: plantas com folhas flutuantes, emergentes, submersas e flutuantes. Ao selecionar uma macrófita aquática, é aconselhável escolher espécies locais nativas que resistam ao estresse da água. Estas plantas devem ajudar a diminuir a obstrução, remover nutrientes do esgoto tratado, isolar a superfície contra temperaturas muito baixas, ter capacidade de transportar oxigênio, embelezar o ambiente e ser resistentes a pragas.

Mendonça (2015) esclarece que as macrófitas desempenham funções essenciais no tratamento de esgoto em wetlands. Elas capturam e removem nutrientes e outros componentes do esgoto, fornecendo suporte para a comunidade microbiana e o crescimento do biofilme. Os rizomas, zona de raízes e colmos são cruciais para o desenvolvimento de uma variedade de micro-organismos envolvidos na decomposição da matéria orgânica do esgoto. Além disso, as macrófitas transferem oxigênio para a rizosfera, absorvendo ar rico em oxigênio pelas folhas e transportando-o para os rizomas e zona de raízes por meio dos aerênquimas. Isso cria condições aeróbias próximas às raízes, favorecendo o crescimento dos micro-organismos e os processos de degradação do esgoto. As macrófitas também facilitam a liberação de gases como metano e dióxido de carbono. As raízes das macrófitas auxiliam na filtração e retenção de sólidos, reduzindo a velocidade do escoamento e aumentando o tempo de contato da água residuária com as raízes, favorecendo a sedimentação dos sólidos em suspensão.

Além de suas funções técnicas, as macrófitas contribuem para a estética e criam habitat para a vida selvagem. Em wetlands com macrófitas ornamentais, além do apelo estético, as plantas oferecem um ambiente propício para a vida selvagem, atraindo pássaros e pequenos animais. Essa integração harmoniosa com a paisagem local pode aumentar o interesse da comunidade na operação adequada do sistema de tratamento ao longo do tempo.

Pelissari (2019) argumenta que, no Brasil, a espécie de macrófita mais utilizada em Wetlands Construídos Horizontais (WCH) é a *Typha spp.*, planta popularmente conhecida como taboa, bucha, capim-de-esteira, espadana, landim, paina-de-flecha, pau-de-lagoa. É classificada como herbácea perene, nativa da América do Sul, com características aquáticas e rizomatosas. Possui caule cilíndrico e pode crescer até 3 metros de altura, com inflorescência de tonalidade castanho claro a marrom. Essa espécie é comum em ambientes de água doce, como lagoas e brejos perenes, e pode tolerar baixas salinidades. *Typha spp.* é encontrada em áreas antropizadas, restingas, vegetações aquáticas, Floresta Estacional Perenifólia e Floresta Ombrófila, sendo comum na região norte do Brasil. *Typha spp.* tem a capacidade de fito remediação em águas contaminadas, sendo eficaz na remoção de ferro, zinco, chumbo e alumínio de locais afetados por resíduos industriais e agrícolas. Além disso, serve como habitat e alimento para roedores e como local de nidificação para aves aquáticas. Seu rizoma é comestível (Silveira, 2020).

Abaixo, no quadro 1 é relatado as funções das macrófitas nos WC-FSS, em relação a suas propriedades e como auxiliam no tratamento do esgoto:

Quadro 1 – Função das macrófitas nos WC-FSS

PROPRIEDADE DAS MACRÓFITAS	AÇÃO DE AUXÍLIO NO TRATAMENTO DE ESGOTOS
Parte aérea	Potencial estético; Embelezamento Paisagístico; Armazenamento de nutrientes; Atenuação da radiação solar; Efeito isotérmico.
Tecidos da planta em contato com a água residuária	Promoção da filtração; Dispõem de grande área para aderência de Microrganismos; Facilitam a transferência de gases (entrada de oxigênio e saída de CH ₄ , CO ₂ , NO ₂ e H ₂ S); Retirada de nutrientes.
Raízes e rizomas em contato com o solo	Prevenção contra a erosão; Liberação de oxigênio; auxílio na degradação aeróbia da matéria orgânica e na nitrificação; Retirada de nutrientes; Liberação de antibióticos.

Fonte: Paoli, 2010.

2.5.3 Wetlands Construídos de Escoamento Horizontal

Os wetlands construídos de escoamento horizontal não se assemelham às áreas úmidas naturais, uma vez que não apresentam água livre na superfície. Eles possuem um leito composto por pequenas pedras, cascalho ou areia, que sustentam o crescimento de plantas aquáticas. O nível da água permanece abaixo da superfície do leito, e os esgotos fluem em contato com as raízes e rizomas das plantas (onde se forma o biofilme bacteriano), não sendo visíveis ou acessíveis para a vida aquática. No sistema de escoamento horizontal subsuperficial, o líquido é continuamente alimentado, fluindo pelos poros do leito até atingir a saída.

Conforme Sezerino et al. (2015) em estudos realizados no Brasil, utilizam Wetlands Construídos de Fluxo Horizontal (WCFH) como parte do tratamento secundário em sistemas de pós-tratamento de decantadores, reatores anaeróbios, reatores UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) ou lagoas anaeróbias. Os diversos fatores que influenciam o processo de tratamento nos WCFH, como critérios de dimensionamento e operação (carga orgânica, taxa hidráulica, regime de alimentação, entre outros), a configuração do wetlands, a composição do material filtrante e as macrófitas usadas, variam conforme a localidade do estudo ou aplicação da unidade de tratamento. Observa-se uma considerável variabilidade nos dados de dimensionamento e operação, bem como na composição do material filtrante, o que dificulta uma análise comparativa e a padronização. A remoção de nutrientes como nitrogênio e fósforo geralmente não é um critério de projeto, sendo priorizada a remoção de matéria orgânica carbonácea expressa em termos de DBO₅. A literatura destaca uma ampla gama de remoção de nitrogênio e fósforo nos WCFH, influenciada pelo ciclo vegetativo das plantas e pelas variações

climáticas. Em relação ao fósforo, observa-se uma diminuição na eficiência ao longo dos anos de operação nos WCFH.

Segundo Silva (2022), os wetlands construídos de fluxo subsuperficial horizontal são sistemas escavados no solo ou construídos abaixo dele, com laterais e fundo impermeabilizados, compostos por materiais filtrantes porosos que facilitam o escoamento e servem de suporte para as plantas. Nestes sistemas, as tubulações de distribuição do esgoto afluente e de coleta do esgoto tratado são dispostas em faces opostas para propiciar um escoamento horizontal longitudinal, favorecido por uma inclinação no fundo, e são plantados com macrófitas. Nessa configuração de sistema, o líquido a ser tratado é introduzido na zona de entrada, composta geralmente por brita maior ou material similar, percorrendo lentamente o material filtrante, também conhecido como meio ou substrato, normalmente composto por brita ou areia, até chegar à parte final na zona de saída, que também é composta por brita maior. O fluxo do líquido ocorre horizontalmente ao longo da seção longitudinal, com o nível do líquido abaixo da superfície do meio filtrante. Dessa forma, o fluxo se dá em um meio hidráulicamente saturado, onde os espaços entre os grãos do meio de suporte são preenchidos com o líquido a ser tratado. A figura 6 apresentada a seguir ilustra o fluxo horizontal no canal do Wetlands construído, sendo possível observar:

Figura 6 – Configuração WCH



Fonte: Empresa Rotaria do Brasil em Florianópolis.

Desta forma, pode-se interpretar que o escoamento horizontal tem como principal objetivo condicionar o efluente numa posição inferior, ou seja, abaixo do nível do solo de sua construção. Seu sistema de filtração é integrado por cascalho, pedras, areia etc., permitindo que a água residuária escoe por esse meio, filtrando-a com a ajuda das raízes das macrófitas emergentes presentes no sistema.

Júnior (2018) apresenta as vantagens e desvantagens desse sistema no tratamento de águas residuárias, conforme o quadro 2 abaixo:

Quadro 2 – vantagens e desvantagens WCFH

Tipo	Vantagens	Desvantagens
Horizontal	<p>Longas distâncias de fluxo;</p> <p>Eficiente remoção de SST e matéria orgânica;</p> <p>Capacidade de desnitrificação;</p> <p>Formação de ácidos húmicos para remoção de nitrogênio e fósforo.</p>	<p>Elevada demanda de área;</p> <p>Problemas com colmatação do leito;</p> <p>Baixa remoção de fósforo;</p> <p>Baixa disponibilidade de oxigênio;</p> <p>Dificuldade de fluxo uniforme.</p>

Fonte: Adaptado de Junior, 2018.

Um dos principais desafios dessa configuração é o acúmulo gradual de colmatação no meio filtrante, especialmente nos primeiros metros do sistema, resultando em um escoamento superficial indesejado. Isso ocorre devido à deposição de sólidos suspensos inertes (minerais) e ao acúmulo de material orgânico de difícil degradação pelos microrganismos na região inicial do leito. Além disso, ocorre a deposição de precipitados químicos no leito. A aplicação de cargas de material orgânico, tanto suspensos quanto dissolvidos, estimula o crescimento de biofilme nas wetlands. O desenvolvimento das raízes das plantas também é evidente, ocupando os poros na camada filtrante. Esses processos desempenham papéis importantes na dinâmica e eficácia do tratamento realizado. A retenção de sólidos suspensos nas wetlands obstrui os espaços entre os materiais filtrantes, resultando na redução da condutividade hidráulica e no aumento da velocidade da água residuária no meio filtrante (Paoli, 2010).

2.5.4 Wetlands Construídos de Escoamento Vertical

Os wetlands construídos de escoamento vertical geralmente consistem em um filtro de areia ou cascalho, plantado com vegetação. Na abordagem mais comum, de escoamento vertical descendente, os esgotos são introduzidos no topo do leito. Na parte inferior do meio filtrante, há uma rede de dutos que coletam os efluentes tratados. O funcionamento se assemelha ao de

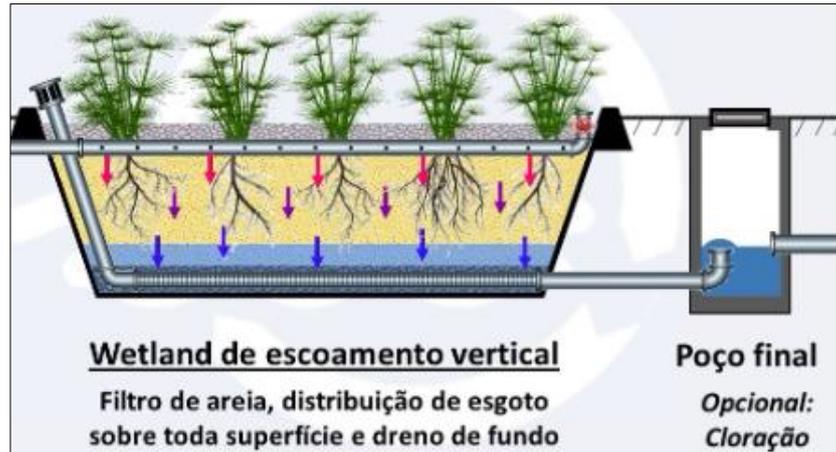
um filtro, com ciclos intermitentes de dosagem e drenagem, diferindo dos sistemas de escoamento horizontal. Devido à dosagem intermitente, o fluxo normalmente ocorre em meio não saturado. Após a passagem do líquido, os poros são preenchidos por ar, promovendo condições aeróbias favoráveis. A alimentação é alternada entre os leitos, com unidades em operação e unidades em repouso.

Uma das principais vantagens dos wetlands construídos verticais é a capacidade de converter o nitrogênio amoniacal em nitrato, ao mesmo tempo em que remove matéria orgânica e sólidos. Com a saturação do leito do WCV, formam-se zonas saturadas e insaturadas que possibilitam uma eficaz remoção de nitrogênio total. Nesses sistemas, elementos como o material filtrante, as macrófitas e os microrganismos desempenham um papel fundamental, atuando como um filtro por onde o efluente percola. É nesse ambiente que a maioria das reações bioquímicas ocorre, proporcionando suporte para o crescimento do biofilme bacteriano e facilitando a adsorção de parte dos poluentes em seus grãos.

Silva (2020) explica que os Wetlands Construídos com Fluxo Vertical operam com o lançamento intermitente do efluente na superfície do módulo, inundando-o e permitindo a percolação vertical, com a coleta realizada pelo sistema de drenagem localizado na base do módulo. Esses sistemas possuem uma superfície plana, em contraste com os Wetlands Construídos De Fluxo Subsuperficial Horizontal que são levemente inclinados, e são preenchidos por um meio poroso geralmente composto por areia e brita. Os de fluxo subsuperficial vertical são mais frequentemente utilizados com um fluxo hidráulico contínuo ou em bateladas, apresentando o meio suporte permanentemente saturado ou em ciclos de inundação e esvaziamento. O fluxo saturado diminui a entrada de oxigênio, sendo os ciclos de inundação e esvaziamento favoráveis para aumentar a oxigenação dentro da unidade de tratamento.

A figura 7 apresentada a seguir ilustra o fluxo vertical no canal do Wetlands construído, sendo possível observar:

Figura 7 – Configuração WCV



Fonte: Empresa Rotaria do Brasil em Florianópolis.

Desta forma, compreende-se que o modelo vertical tem seu leito coberto por macrófitas emergentes, e seu filtro é equivalente aos filtros de areia, com o efluente escoando pelo fundo do leito, que pode ser composto por pedras, areia e afins. Com esse tipo de escoamento, não é necessária a inserção de tratamento primário.

Júnior (2018) apresenta as vantagens e desvantagens desse sistema no tratamento de águas residuárias, conforme o quadro 3 abaixo:

Quadro 3 – vantagens e desvantagens WCV

Tipo	Vantagens	Desvantagens
Vertical	Menor demanda de área; Maior fornecimento de oxigênio; Estímulo à nitrificação e remoção de matéria orgânica.	Curtas distâncias do fluxo; Pobre desnitrificação e baixa remoção de nitrato; Baixa remoção de fósforo.

Fonte: Adaptado de Júnior, 2018.

2.5.5 Fatores que influenciam a eficiência do tratamento com WC

Os wetlands construídos, que replicam os processos naturais de purificação da água, apresentam uma capacidade significativa de modificar a qualidade do efluente através de mecanismos físicos, químicos e biológicos (Souza, 2017). Diversos fatores influenciam a eficiência do tratamento nesses sistemas, incluindo tipo de solo, condições meteorológicas, hidrologia, hidrodinâmica, presença de flora e fauna, e práticas de operação e manejo. A

influência desses fatores é determinante para o desempenho do sistema, sendo necessário considerar suas variações para otimizar a eficiência na remoção de poluentes.

Entre os fatores climáticos que afetam diretamente o desempenho dos wetlands construídos, destaca-se a evapotranspiração, que pode impactar o tempo de detenção hidráulico (TDH) e, conseqüentemente, a eficiência do tratamento. A evapotranspiração, resultado da combinação da evaporação da superfície e da transpiração das plantas, pode causar perdas significativas de volume de água, especialmente em regiões quentes ou secas. Essa perda de água diminui o volume disponível para tratamento, reduzindo o TDH, que é o tempo que o efluente permanece no leito do sistema. Como o TDH é essencial para a eficiência do tratamento, uma diminuição significativa pode comprometer a remoção de compostos como Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), nutrientes e patógenos.

A radiação solar também exerce influência, afetando o crescimento das plantas e, indiretamente, a evapotranspiração e a absorção de poluentes pelas raízes. Já a temperatura regula as reações físico-químicas e bioquímicas, além de influenciar a reaeração, volatilização e a própria evapotranspiração. A precipitação, por sua vez, pode alterar o balanço hídrico do sistema, enquanto o vento contribui para a evapotranspiração e influencia as trocas gasosas e a turbulência do fluxo.

A interação entre poluentes e o solo é outro aspecto essencial, com a sorção sendo dependente das características do solo e dos poluentes. É fundamental que o solo possua uma camada que impeça a infiltração de poluentes no lençol freático, podendo incluir materiais impermeabilizantes para assegurar a eficácia do sistema e a proteção dos recursos hídricos subterrâneos.

As atividades biológicas também desempenham um papel fundamental na remoção de poluentes, com as plantas e microrganismos atuando na absorção, adsorção e decomposição de matéria orgânica. A vegetação deve ser escolhida e manejada cuidadosamente, garantindo que seja eficaz na remoção de poluentes sem comprometer o ecossistema local. A eficiência do sistema, portanto, é diretamente influenciada pelo manejo adequado desses fatores e pelo controle da evapotranspiração, que, ao afetar o TDH, pode comprometer o desempenho geral dos Wetlands Construídos.

Assim, o entendimento das interações entre esses fatores é essencial para o dimensionamento e operação eficaz dos sistemas de Wetlands Construídos, promovendo a máxima remoção de poluentes e a sustentabilidade no tratamento de águas residuárias.

2.6 ESTUDOS DE DIMENSIONAMENTOS EXPLORADOS

No Brasil, a experiência com a operação e dimensionamento de sistemas de Wetlands Construídas (WC) ainda é limitada, devido à ausência de parâmetros de projeto padronizados em normas ou documentos específicos. Os arranjos desses sistemas variam conforme a região geográfica, as características do efluente a ser tratado e o tipo de remoção desejada. Para otimizar o desempenho desses sistemas, é primordial considerar variáveis como a presença ou ausência de etapas primárias e secundárias, a alimentação contínua ou intermitente, o tipo de material filtrante, o carregamento hidráulico e orgânico, as espécies de macrófitas, as condições climáticas locais e as condições operacionais (Leal, 2019).

A revisão bibliográfica identificou quatro modelos que podem ser utilizados para o dimensionamento de wetlands construídas, sejam eles verticais ou horizontais. Esses modelos incluem a relação área per capita, a cinética de primeira ordem, a taxa de transferência de oxigênio e o carregamento orgânico superficial juntamente com a taxa hidráulica aplicados. Destacam-se nos estudos de Begosso (2009), Sezerino et al. (2015), Souza (2017), Alves (2018), Sezerino et al. (2018) e Von Sperling e Sezerino (2018) a preferência pela utilização da cinética de primeira ordem como método de delimitação para o dimensionamento dos Alagados Construídos.

O grupo de estudos em sistemas de Wetlands Construídos para o tratamento de águas residuárias publicou uma edição especial em dezembro de 2018, que aborda o Dimensionamento de Wetlands Construídos no Brasil. Este documento, resultado de um consenso entre pesquisadores e profissionais, foi elaborado por Marcos von Sperling (UFMG) e Pablo H. Sezerino (UFSC). O boletim apresenta a configuração do sistema WC, bem como as características de dimensionamento associadas aos Wetlands Construídos, os quais são projetados com foco principalmente na remoção de matéria orgânica. Os parâmetros de projeto recomendados devem ser obtidos a partir das tabelas fornecidas no referido documento. Ressalta-se que, no documento em questão, os autores expõem que não têm a intenção de se tornar uma proposta de Norma Brasileira. Os pesquisadores acreditam que a experiência acumulada nacional, em breve (mas não imediatamente), poderá fornecer a base para

estabelecer critérios de dimensionamento que possam se tornar uma norma futura. O objetivo é consolidar, por meio de um consenso entre pesquisadores e profissionais da área de wetlands (sistemas alagados construídos), os principais critérios e parâmetros de projeto que podem ser adotados.

Conforme descrito por Matheus et al. (2018), no Manual de Sistemas de Wetlands Construídas para o Tratamento de Esgotos Sanitários: implantação, operação e manutenção, apresenta-se uma segmentação para o dimensionamento de Wetlands Construídos (WC), composta pela escolha do tipo de WC mais adequado para potencializar a remoção dos principais poluentes. Posteriormente, realiza-se a caracterização física e química do esgoto a ser tratado para determinar a concentração inicial dos poluentes a serem removidos, além da definição da eficiência de remoção desejada para os poluentes alvo. Determinar a vazão média a ser tratada com base na contribuição per capita e na população atendida é um passo relevante no processo de dimensionamento. Outro passo importante é calcular a porosidade do leito com base no material de suporte escolhido. Estabelecer o coeficiente de decaimento do poluente (KT) em relação à temperatura e ao tempo é importante para compreender a remoção dos poluentes no sistema. Calcula-se a área superficial necessária para instalar o leito e, a partir disso, determinam-se as dimensões do leito, sendo recomendável que o comprimento seja consideravelmente maior que a largura para garantir o modelo de fluxo em pistão. O tempo de detenção hidráulica pode ser calculado para a Wetlands Construída, levando em consideração as características do sistema e a vazão média do efluente.

Com base na análise dos estudos, compreende-se que, levando em consideração as diferentes variações de Wetlands Construídas, os critérios de dimensionamento podem variar de acordo com o modelo específico a ser projetado. Isso fornece uma base para a configuração dos elementos de projeto para diversas modalidades (Filho, 2022). Os principais elementos de projeto incluem cálculos de processo, detalhes hidráulicos, meio filtrante, detalhes construtivos, plantas, estratégia operacional, pré-tratamento, e eficiências de remoção esperadas.

O quadro 4 a seguir, exterioriza os principais meios para planejamento de projeto de sistema WC:

Quadro 4 – Elementos para base de projeto para Wetlands Construídos.

ELEMENTOS	DESCRIÇÃO
Cálculos de processo;	Taxas de aplicação que permitam a determinação da área superficial requerida; critérios para especificação do número de unidades em paralelo a serem adotadas e das principais dimensões das unidades (comprimento, largura, profundidade);
Detalhes hidráulicos	Tubulações de entrada, distribuição, coleta e saída;
Meio filtrante;	Espessura, granulometria;
Detalhes construtivos;	Taludes, borda livre, declividade de fundo, impermeabilização dos taludes e do fundo;
Plantas;	Listagem de plantas comumente utilizadas;
Estratégia operacional	Alimentação contínua ou em bateladas (pulsos); eventual alternância entre leitos em paralelo;
Pré-tratamento	Quando requerido;
Eficiências de remoção esperadas;	Faixas típicas esperadas para esgotos domésticos (não são efetuados cálculos usando modelos matemáticos).

Fonte: Filho, 2022.

De acordo com os estudos de Alves (2018), para otimizar o funcionamento do sistema, é essencial compreender os parâmetros de dimensionamento. Um dos critérios comuns para o planejamento de um sistema de tratamento de águas residuais em Wetlands Construídas é a relação de m² por pessoa. Destaca-se a necessidade de estabelecer critérios específicos para o projeto, visando garantir a máxima eficiência e a mínima necessidade de manutenção no sistema de tratamento. Além disso, o trabalho de Alves (2018) apresenta critérios para construção de wetlands construídas, estes sendo possível verificar na tabela 5 abaixo:

Tabela 5 – Critérios dimensionar um sistema WC.

PARÂMETROS	FLUXO SUPERFICIAL	FLUXO SUBSUPERFICIAL
Tempo de detenção hidráulica (dia)	5 a 14	2 a 7
Taxa máxima de carregamento (kgDBO/hab. Dia)	80	75
Profundidade substrato (cm)	10 a 50	10 a 100
Taxa de carregamento hidráulico (mm/dia)	7 a 60	2 a 30
Controle de mosquito	Necessário	Não é necessário
Relação comprimento: largura	2:1 a 10:1	0,25:1 a 5:1
Área requerida (há/m ³ . dia)	0,002 a 0,014	0,001 a 0,007

Fonte: Alves, 2018

Com base nas noções, informações e conhecimentos reunidos, é possível estabelecer a metodologia para o desenvolvimento da configuração necessária para o tratamento adequado e eficiente. A seguir, no quando 5 estão expostos os principais estudos e seus respectivos autores:

Quadro 5 – Estudos analisados

ESTUDO	AUTOR	PREDICAMENTO
Configuração De Wetlands Construídos Para O Tratamento De Água Cinza	Begosso <i>et al.</i> (2009)	Artigo
Construção E Aplicabilidade Do Sistema Wetland Construído De Fluxo Subsuperficial Horizontal No Tratamento De Água Cinza Para Reuso Não Potável	Teixeira (2018)	Trabalho de conclusão de curso
Projeto E Estimativa De Custos Para Implantação De Wetland Construído Em Residência Unifamiliar No Loteamento Setor Sul Do Município De Itaberaí-GO	Silva (2022)	Artigo (trabalho de conclusão de curso 2)
Proposta De Implantação De Um Sistema De Wetland Construída Para O Tratamento De Esgoto Na, Zona Rural Do Município De Toledo-MG	Alves (2018)	Trabalho de conclusão de curso
Tratamento De Esgoto Utilizando A Eco tecnologia Wetlands Construídos Para Sistemas Coletivos De Pequeno Porte	Filho (2022)	Trabalho de conclusão de curso

Determinação De Parâmetros De Projeto E Critérios Para Dimensionamento E Configuração De Wetlands Construídas Para Tratamento De Água Cinza	Begosso (2009)	Dissertação
A Biotecnologia dos Jardins Filtrantes na Despoluição da Lagoa da Pampulha/ MG	Rocha <i>et al.</i> (2016)	Artigo
Dimensionamento Comparativo Entre Sistemas De Lagoas E De Zonas De Raízes Para O Tratamento De Esgoto De Pequena Comunidade	Melo <i>et al.</i> (2013)	Artigo
Dimensionamento De Um Sistema Wetland Construído Para O Tratamento De Esgotos No Distrito De Tamoios Cabo Frio/RJ	Souza (2017)	Trabalho de conclusão de curso
Dimensionamento De Um Sistema Wetlands Construídos De Fluxo Horizontal Para Tratamento Do Efluente De Uma Residência Rural	Souza <i>et al.</i> (2019)	Resumo
Dimensionamento De Wetland De Fluxo Vertical Com Nitrificação – Adaptação De Model O Europeu Para As Condições Climáticas Do Brasil	Platzer <i>et al.</i> (2007)	Resumo
Dimensionamento De Wetlands Construídas Em Sistemas Individuais De Tratamento De Esgoto Sanitário	Weber <i>et al.</i> (2014)	Resumo
Dimensionamento De Wetlands Construídos No Brasil. Documento De Consenso Entre Pesquisadores E Praticantes.	Sperling <i>et al.</i> (2018)	Documento
DIMENSIONAMENTO DE WETLANDS CONSTRUÍDOS: Uma Análise De Diferentes Métodos Para Aplicabilidade Na Região Sul Do Ceará	Oliveira <i>et al.</i> (2021)	Resumo
Dimensionamento E Avaliação De Wetland Construído Utilizado Para Tratamento De Efluente Doméstico Em Área Rural: Um Estudo De Caso	Sartor <i>et al.</i> (2021)	Artigo

Fonte: Elaborado pela autora (2024)

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos adotados nesta pesquisa seguem uma classificação exploratória, descritiva e explicativa. A pesquisa exploratória busca proporcionar uma maior familiaridade com o tema dos Wetlands Construídos e seus métodos de dimensionamento, permitindo uma compreensão mais ampla e inicial sobre o assunto.

Em seguida, a pesquisa descritiva entra em ação, detalhando os métodos existentes de dimensionamento de Wetlands Construídos, com o objetivo de apresentar uma visão clara e precisa de como esses sistemas são projetados. A abordagem descritiva se concentra em expor e analisar os modelos, parâmetros e diretrizes técnicas empregadas nos processos de dimensionamento, oferecendo uma base sólida de conhecimento.

Além disso, a pesquisa também adota um caráter explicativo, que visa entender e explicar as relações de causa e efeito envolvidas no processo de dimensionamento dos Wetlands Construídos, especialmente na forma como diferentes variáveis influenciam o funcionamento e a eficiência desses sistemas.

Com foco em uma abordagem qualitativa, a pesquisa prioriza a análise profunda e interpretativa dos dados, ao invés de uma quantificação numérica. A partir dessa abordagem, são examinadas as percepções, conceitos e teorias relacionadas aos métodos de dimensionamento, proporcionando uma compreensão rica e detalhada do fenômeno estudado.

Por fim, o método descritivo assume papel central na análise dos métodos de dimensionamento de Wetlands Construídos, assegurando que cada aspecto seja meticulosamente observado e descrito, com base em fontes bibliográficas e estudos de caso relevantes para a pesquisa.

3.1 PROCEDIMENTOS TÉCNICOS

Os procedimentos técnicos envolveram etapas específicas para a coleta e análise dos dados, garantindo a validade e confiabilidade da pesquisa.

3.1.1 Coleta de dados

A coleta de dados foi realizada através de métodos primários e secundários, proporcionando uma visão abrangente sobre os Wetlands Construídos e seu dimensionamento.

Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica utilizando livros, artigos científicos, teses, dissertações e relatórios técnicos dos principais autores na área de tratamento de efluentes, incluindo Marcos Von Sperling da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Pablo H. Sezerino da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Luiz H. Barboza De Souza da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Larissa Begosso da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) e Júnia Pereira Teixeira do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG). O documento "Dimensionamento de Wetlands Construídos no Brasil" elaborado por Marcos von Sperling e Pablo H. Sezerino foi destacado como a principal fonte de referência. Essa revisão teve como objetivo compilar o conhecimento existente e identificar métodos de dimensionamento adequados para pequenos empreendimentos com efluentes contendo sólidos suspensos, nutrientes e carga orgânica.

Em seguida, foi realizada uma análise documental focando nos relatórios da agroindústria em estudo e nas apostilas de cursos realizados pelos proprietários. O objetivo desta análise foi obter informações detalhadas sobre o perfil da agroindústria e os processos de produção.

Para complementar a pesquisa documental, foram conduzidas visitas no local do empreendimento em diferentes momentos para observação do funcionamento, como o processo de produção, a quantidade de água utilizada na produção da polpa, a quantidade de água gasta na limpeza e os produtos utilizados, sendo feitas constatações diretas nas instalações da agroindústria em estudo.

3.1.2 Análise dos dados

A análise dos dados é predominantemente qualitativa, focando na interpretação e compreensão dos dados coletados para responder às perguntas de pesquisa.

A análise de conteúdo foi realizada através da codificação manual das transcrições das entrevistas e documentos analisados. Os dados foram organizados em categorias temáticas, identificando padrões e temas recorrentes. Este método teve como objetivo interpretar os dados qualitativos para entender os métodos de dimensionamento dos Wetlands Construídos e as necessidades específicas da agroindústria.

A triangulação dos dados foi utilizada para integrar as informações coletadas através da revisão bibliográfica, análise documental, entrevistas e observações diretas. Esta abordagem teve como objetivo correlacionar os dados de diferentes fontes para obter uma compreensão holística e robusta sobre os Wetlands Construídos e seu papel no tratamento de águas residuárias na agroindústria.

Com base na literatura revisada e nos dados coletados, foi selecionado e adaptado um modelo de dimensionamento para o canal de Wetlands Construídos na agroindústria Fortaleza Polpa de Frutas.

3.1.3 Metodologia de dimensionamento adotada

Os Wetlands Construídos (WC) são tecnologias que simulam processos naturais de purificação da água, utilizando plantas aquáticas, solo e microrganismos para remover poluentes e melhorar a qualidade da água. O objetivo desta metodologia é dimensionar um sistema de WC para o tratamento das águas cinzas geradas pela agroindústria, contribuindo para a recuperação e preservação dos recursos hídricos locais.

Com base na análise das configurações de wetlands construídos, optou-se pelo sistema de escoamento subsuperficial de fluxo horizontal (WCFH). Essa escolha se deve às vantagens em termos de remoção de sólidos suspensos e bactérias, além da redução do risco de odores e da proliferação de agentes patogênicos, quando comparado ao sistema de escoamento superficial.

Para o dimensionamento do sistema WCFH, utilizaremos modelos baseados na cinética de primeira ordem, que são amplamente empregados no tratamento secundário de águas residuárias ou com baixa carga orgânica. Nesses modelos, a taxa de remoção da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é diretamente proporcional à concentração do poluente no meio, o que permite calcular de forma eficiente as dimensões do sistema necessário.

A seguir detalha-se as equações para o dimensionamento:

a) Cálculo da área superficial

Para determinar a área superficial requerida em metros quadrados (m^2) para o WC, utiliza-se a equação (1), a constante KT , destacada na Equação (2), pode ser obtida através de

equações empíricas que relacionam a constante de reação (K20) com a equação modificada de van't Hoff-Arrhenius apresentadas na tabela 6 abaixo:

Tabela 6 – Equação para área superficial requerida

EQUAÇÃO	AUTORES QUE EMPREGAM ESTA EQUAÇÃO EM SEUS ESTUDOS
$A = \frac{Q \cdot (\ln C_o - \ln C_e)}{KT \cdot p \cdot n} = (1)$	Begosso (2009)
	Rocha, Santos e Carvalho (2016)
$KT = K20 \cdot (1,06)^{T-20} = (2)$	Alves (2018)
	Silva (2022)
$DBO_{eflu} = \left(1 - \frac{E}{100}\right) \cdot DBO_e (3)$	Plentz (2014)
	Bernardo <i>et al.</i> (2015)
	Von Sperling, M. (2014)
	Outros

Fonte: Elaborado pela autora (2024). **Legenda:** A = área superficial requerida (m²); Q = vazão afluente (m³.d⁻¹); Co = concentração afluente em termos de DBO5 (mg. L⁻¹ = g.m⁻³); Ce = concentração efluente em termos de DBO5 (mg. L⁻¹ = g.m⁻³); KT = obtida pela Equação 2 (d⁻¹); n = porosidade do material filtrante (m³ vazios.m⁻³ material); p = profundidade média do filtro (m); K20 = Constante de reação da cinética de primeira ordem – depende da temperatura; K20 = Constante de reação a 20 °C (d⁻¹) é tomado como base; T = Temperatura crítica de operação (°C); E = eficiência do tratamento na remoção da DBO₅ (%); DBO_{efl} = DBO₅ do esgoto efluente do tratamento (mg/L); DBO_e = DBO₅ do esgoto afluente ao tratamento, ou esgoto bruto (mg/L).

Esta equação é usada para determinar a área superficial requerida de um sistema de Wetlands Construído de Fluxo Subsuperficial Horizontal (WCFH). A área superficial é principal porque define o tamanho do sistema necessário para atingir os objetivos de tratamento.

b) Cálculo do volume total do canal

Para calcular o volume total do jardim de área alagada pode ser calculada pela equação (4) apresentada abaixo na tabela 7:

Tabela 7 – Equação para volume do WC

EQUAÇÃO	AUTORES QUE EMPREGAM ESTA EQUAÇÃO EM SEUS ESTUDOS
$V = A \times p = (4)$	Rocha, Santos e Carvalho (2016)

Fonte: Elaborado pela autora (2024). **Legenda:** V= volume (m³); A= área superficial requerida (m²); P= profundidade (m)

Esta equação é utilizada para calcular o volume total do canal (ou leito) do sistema WCFH. O volume é importante para determinar a capacidade do sistema de armazenar e tratar o efluente ao longo do tempo, sendo significativo pois influencia o tempo de detenção hidráulica (quanto tempo o efluente permanece no sistema), que por sua vez afeta a eficiência do tratamento.

c) Cálculo do tempo de detenção hidráulico

Para calcular e determinar o tempo de retenção hidráulico do efluente no leito, é considerada a equação (5), apresentada na tabela 8 seguir:

Tabela 8 – Equação para tempo de detenção hidráulica

EQUAÇÃO	AUTORES QUE EMPREGAM ESTA EQUAÇÃO EM SEUS ESTUDOS
$t = n \frac{V}{Q} = \quad (5)$	Sperling (2016)
	Plentz (2014)
	Sperling e Sezerino (2018)
	Souza (2018)
	Outros.

Fonte: Elaborado pela autora (2024). **Legenda:** T= Tempo de retenção hidráulica (d); n= Porosidade do meio suporte (m³ vazios/ m³ material); V= Volume do canal obtida pela equação 4 (m³); Q= Vazão de efluente (m³/d);

O tempo de detenção hidráulico (TDH) é o tempo médio que o efluente permanece dentro do sistema de wetlands. Este parâmetro é vital para garantir que o efluente tenha tempo suficiente para que os processos de tratamento ocorram.

As equações apresentadas são baseadas em modelos consolidados na literatura e serão aplicadas para dimensionar um sistema eficiente e sustentável, adequado às condições específicas da agroindústria de polpas de frutas na região.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DA PESQUISA

4.1 ESTUDO DE CASO

A proposta do presente trabalho consiste no dimensionamento de um Wetland Construídos de Fluxo Horizontal Subsuperficial para tratamento de águas cinzas em uma pequena agroindústria na área rural do município de Ariquemes/RO. Este dimensionamento visa adequar o efluente as condições ideais reuso não potável na propriedade por meio de um canal WC que atenda a vazão diária do empreendimento, esse com uma área total de 47,17m².

4.2 OBTENÇÃO DE DADOS PARA O DIMENSIONAMENTO

4.2.1 Obtenção da vazão

A determinação da vazão média de efluente gerado em uma agroindústria é um passo fundamental para o dimensionamento de sistemas de tratamento, como os wetlands construídos. A vazão de efluente reflete a quantidade de água residual que o sistema precisará tratar diariamente e é influenciada pelos volumes de água utilizados nos processos produtivos e de higienização da agroindústria. Para calcular essa vazão média diária, foram coletadas informações detalhadas sobre os volumes de água consumidos durante o processamento e a limpeza, além da frequência dessas atividades ao longo da semana.

Para a obtenção da vazão, foram realizadas visitas in loco, onde se observou que a utilização de água se inicia na chegada das frutas, no entanto, o processamento pode ou não ocorrer no mesmo dia de recebimento da matéria-prima. No caso da agroindústria de polpas de frutas em estudo, os principais usos de água estão relacionados à lavagem das frutas e ao processo de despulpamento, assim como às atividades de limpeza e higienização das instalações. Em média, são gastos 1.000 litros de água para a lavagem das frutas e aproximadamente 1.500 litros durante o processamento e limpeza por ciclo de produção.

A frequência dessas atividades é variável. As frutas chegam entre 1 a 2 vezes por semana, enquanto o processamento pode ocorrer de 2 a 4 vezes por semana. Em casos isolados de alta demanda, o número de dias de processamento pode exceder essa média. Considerando essa variabilidade, o cálculo da vazão média diária foi realizado para dois cenários: um cenário mínimo, com uma lavagem e dois processamentos semanais, e um cenário máximo, com duas lavagens e quatro processamentos semanais.

A escolha do método de cálculo baseou-se no consumo de água durante a lavagem das frutas e o processamento, considerando a frequência semanal dessas atividades.

A vazão média foi estimada a partir dos cenários foram:

- **Cenário Mínimo:** 1 lavagem das frutas (1.000 litros) + 2 processamentos (1.500 litros por processamento).
- **Cenário Máximo:** 2 lavagens das frutas (1.000 litros cada) + 4 processamentos (1.500 litros por processamento).

Dividiu-se o volume total de água utilizada em cada cenário pelo número de dias na semana (7 dias), para obter a vazão média diária.

Cenário Mínimo:

Dados:

- 1 lavagem: 1.000 litros/semana.
- 2 processamentos: 3.000 litros/semana.

$$Q_{semanal} = 1000 + (2 \times 1500) = 4000l/semana$$

Verifica-se então um volume semanal de 4000l (4m³) de efluente. A partir deste, entende-se que a média diária da vazão será de 571,43 l/dia (0,571 m³/dia) como pode ser observado na equação a seguir:

$$Q_{diario} = \frac{4000}{7} = 571,43$$

Cenário Máximo:

Dados:

- 2 lavagens: 2.000 litros/semana.

- 4 processamentos: 6.000 litros/semana.

$$Q_{semanal} = (1000 + 1000) + (4 \times 1500) = 8000$$

Verifica-se então um volume semanal de 8000l (8m³) de efluente. A partir deste, entende-se que a média diária da vazão será de 1.142,86 l/dia (1,143 m³/dia) como pode ser observado na equação a seguir:

$$Q_{diario} = \frac{8000}{7} = 1142,86l/dia$$

Com base nos cálculos realizados, a vazão média diária de efluente gerado na agroindústria de polpas de frutas varia entre 0,571 m³/dia (cenário mínimo) e 1,143 m³/dia (cenário máximo). Essas estimativas serão utilizadas para o dimensionamento do sistema de Wetlands Construído, garantindo que o sistema seja capaz de tratar adequadamente a carga de efluente gerada. A variação na frequência de lavagem e processamento foi considerada para que o sistema possa lidar tanto com as condições normais quanto com os possíveis picos de produção da agroindústria.

4.2.2 Obtenção da constante de reação (K20) em WCHSS.

Para o cálculo da área requerida (equação 1) para o canal do WCHSS, foi necessário definir o valor da constante de reação de cinética de primeira ordem (equação 2).

Com base nos valores fornecidos por Sezerino *et al.* (2015) no artigo “Experiências brasileiras com wetlands construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais”, o mesmo destaca uma faixa de aplicação para KT de 0,8 a 1,1 d⁻¹. Exposto também pelos autores, variados estudos publicados anteriores ao ano de 2011, os valores (KT) são apresentados de maneira escassa, essa podendo ser observado na tabela 9 a seguir:

Tabela 9 – Constantes de degradação (K20) apresentados para o sistema WCHSS

Autor	Contribuição afluente (l.d⁻¹)	Dimensões (c x l x p) *	M². pessoa - 1*	Constantes de degradação	Eficiências
Sezerino (2006), dados referentes a 17 meses de monitoramento	830	5,0 x 2,0 x 0,60 m	2,00	K20 (d ⁻¹): 0,36 t (d): 3,9	DBO: 61% DQO: 69%
Olijnyk et al. (2007), dados referentes a 12 meses de monitoramento	8.500 (doméstico) + 600 (industrial)	26,0 x 13,0 x 0,70 m	5,57	K20 (d ⁻¹): 1,08 t (d): 10,4	DBO: 97% DQO: 98%
	8.500	10,0 x 5,0 x 0,70 m	0,88	K20 (d ⁻¹): 1,69 t (d): 1,6	DBO: 79% DQO: 78%
	3.120	4,0 x 2,0 x 0,7 m (2 unidades avaliadas em paralelo)	0,77	K20 (d ⁻¹): 0,87 t (d): 1,4	DBO: 61% DQO: 57%
	6.600	12,0 x 6,0 x 0,70 m	1,64	K20 (d ⁻¹): 0,92 t (d): 3,1	DBO: 92% DQO: 89%
	7.000	9,5 x 4,5 x 0,7 m	0,92	K20 (d ⁻¹): 1,53 t (d): 1,7	DBO: 75% DQO: 85%
Dias et al. (2011), dados referentes a 19 meses de monitoramento	1.000 – 2.500	Foram avaliados 4 sistemas - 2 com 24 m ² e 2 com 14,6 m ² de área superficial	0,88-3,6	K20 (d ⁻¹): 0,45 t (d): 1,3 – 5,3	DBO: 73 – 89%

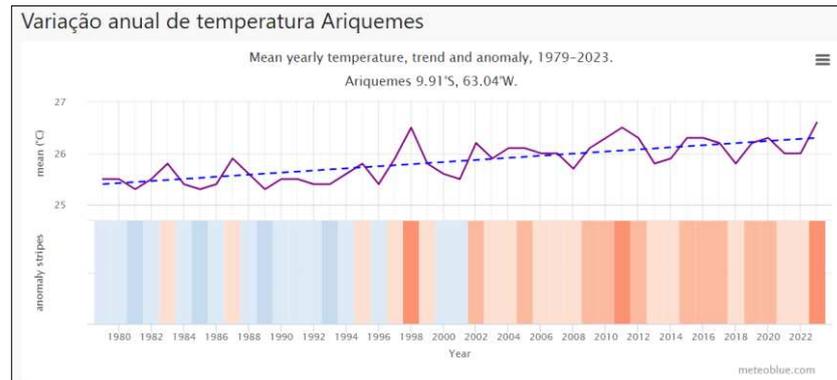
Autor: Sezerino *et al.* (2015)

Partindo do pressuposto adotou-se o valor de $K_{20} (d^{-1}) = 0,45$ da constante de reação da cinética de primeira ordem, sendo valoroso sublinhar que, este valor é o mais recente apresentado por Sezerino *et al.* (2015) com monitoramento de 19 meses no ano de 2011, e os demais anteriores ao ano de 2007 e monitoramento de 12 a 17 meses.

4.2.3 Obtenção da temperatura

Para a temperatura crítica de operação, a temperatura adotada como referência será de 25,8° C. A seguir, na figura 8 é possível realizar a observação da variação anual de temperatura do município de Ariquemes:

Figura 8 – Variação anual de temperatura de Ariquemes



Fonte: Meteoblue (1979 – 2023)

O gráfico superior mostra a estimativa da temperatura média anual em Ariquemes. A linha azul tracejada indica a tendência climática: se for ascendente, há aquecimento; se for horizontal, não há mudança significativa; se for descendente, as temperaturas estão diminuindo. O gráfico inferior apresenta as faixas de aquecimento, com cada faixa representando a temperatura média anual. As cores variam de azul (anos mais frios) a vermelho (anos mais quentes).

Para estabelecer o valor de 25,8°C como temperatura de referência, foi realizado um cálculo baseado na temperatura média fornecida pela Meteoblue. A Meteoblue é uma plataforma que disponibiliza dados meteorológicos de alta qualidade, gerados através de modelos numéricos avançados e comparações com múltiplas fontes. Por meio da análise de dados históricos e da utilização de modelos climáticos de alta resolução, a Meteoblue oferece previsões precisas para qualquer localidade. Assim, a adoção desse valor foi fundamentada na confiabilidade e precisão das informações meteorológicas disponibilizadas pela plataforma.

O desenvolvimento da Meteoblue teve início na Universidade da Basileia, Suíça, em 2002, quando um de seus fundadores, Mathias Müller, criou modelos numéricos operacionais para a Suíça, baseados no modelo WRF da NOAA/NCEP. Com o apoio do Centro de Computação da Universidade, esses modelos foram disponibilizados ao público em 2004 e rapidamente conquistaram popularidade entre alpinistas, caminhantes e cientistas, devido à precisão das previsões e à visualização em 3D. Em 2006, a Meteoblue foi formalmente fundada como empresa, consolidando-se como referência ao estabelecer uma infraestrutura comercial robusta e uma equipe de desenvolvimento dedicada.

4.2.4 Obtenção da concentração de DBO afluente e efluente

Com base na análise da literatura, item 2.2.1 que apresenta os dados de DBO₅ fornecidos pelos autores são de 823 ± 40 mg/L conforme, Feio, 2016, de 2319,30 mg/L de acordo com Lemos, 2017 e 650 mg/L mencionado por Machado, 2019. A escolha do valor de DBO adotado foi baseada em uma comparação entre esses três valores, o selecionado se destaca por ser proveniente de um estudo mais recente, o que reflete maior atualização e precisão em relação às condições atuais dos efluentes. Além disso, esse estudo é mais específico para efluentes líquidos de sucos, proporcionando dados mais relevantes para a aplicação no sistema de tratamento proposto. Os outros valores, embora válidos, são anteriores e derivam de pesquisas voltadas para resíduos de processos como o do beneficiamento apenas do açaí, não abrangendo um conjunto de frutas, o que pode não representar adequadamente as características dos efluentes líquidos da agroindústria em questão.

Adotou-se então a concentração afluente em termos de DBO₅ igual a 650 mg/L.

Com fundamento na concentração do afluente encontrada anteriormente, é possível determinar o valor da concentração efluente em relação à DBO₅, utilizando a equação (3) proposta por Von Sperling, M. (2014). A partir desta, sabendo que a concentração afluente em termos de DBO₅ é igual a 650 mg/L, e considerando a eficiência de remoção mínima de 60% recomendada pela Resolução CONAMA N° 430/2011 obtemos o seguinte resultado:

$$DBO_{eflu} = \left(1 - \frac{60}{100} \right) \cdot 650 =$$

$$DBO_{eflu} = \frac{60}{100} = 0,6$$

$$DBO_{eflu} = 0,6 \cdot 1264,10 = 390 \text{ mg/L} \quad (3)$$

Atingindo desta forma a concentração efluente em termos de DBO₅ igual a 390 mg/L.

4.3 DIMENSIONAMENTO

O dimensionamento do sistema de wetlands construído é iniciado pela equação (1), que depende do valor de "KT", determinado pela equação (2). Para obter o valor de *KT*, foram utilizados os parâmetros apresentados na tabela 10 abaixo:

Tabela 10 – Dados para resolução da equação (2)

INDICADOR	DADOS
Constante De Reação A 20 °C (K_{20})	0,45 d ⁻¹
Temperatura Crítica De Operação (T)	25,8°C

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Portanto, a constante de reação da cinética de primeira ordem, com base nos dados obtidos, é de 0,63 T/d. Assim, a área do Wetland Construído é definida pela equação (1). Para tal, foram utilizados os parâmetros apresentados na tabela 11 abaixo:

Tabela 11 – Dados para resolução da equação (1)

INDICADOR	DADOS
Vazão Afluente	1,143 m ³ /dia
Concentração Afluente Em Termos De DBO5	650 mg/L
Concentração Efluente Em Termos De DBO5	390 mg/L
Constante De Reação Da Cinética De Primeira Ordem	0,63 T/d
Profundidade Média Do Filtro	0,60 m
Porosidade Do Material Filtrante	0,35 m ³ vazios.m ⁻³ material

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Acentua-se que, o valor da profundidade adotado foi baseado nos estudos elaborado por Sperling e Sezerino (2017). Também foram estabelecidas as medidas para a zona de entrada e a zona de saída do sistema, ambas com 0,5 m. Além do mais os autores indicam que a distância entre o nível do esgoto e o topo do meio de suporte deve ser de 0,10 m, um parâmetro essencial para o controle da altura da lâmina de esgoto. Dessa forma, a profundidade efetiva da camada de esgoto foi definida em 0,50 m, o que assegura o desempenho ideal do sistema de tratamento. Levando em consideração a vazão adotada no projeto, foi decidido o uso de tubulações com diâmetro de 75 mm tanto para a entrada quanto para a saída do efluente. Essa escolha foi fundamentada em normas técnicas e boas práticas de engenharia para garantir a eficiência do escoamento e a prevenção de entupimentos, mantendo a operação estável do sistema de wetlands.

Já o valor da porosidade foi definido conforme estudos de Bernardo et al. (2015) e Teixeira (2018), além de outros trabalhos citados ao longo deste estudo.

Assim, ao substituir os valores na equação (1), o cálculo da área superficial requerida (m^2) resultou em uma área mínima de $4,41 m^2$.

Com a área superficial determinada, é possível realizar a determinação do volume do canal do WCFHSS, utilizando a equação (4). Para o cálculo, foram utilizados os parâmetros apresentados na tabela 12 abaixo:

Tabela 12 – Dados para resolução da equação (4)

INDICADOR	DADOS
Área Superficial Requerida (m^2)	$4,41 m^2$
Profundidade	$0,60 m$

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

Esse cálculo teve como base os valores obtidos anteriormente no cálculo da área superficial, garantindo a coerência e precisão no dimensionamento do sistema. A aplicação desses dados resultou em um volume final de $2,646 m^3$, essencial para garantir o funcionamento adequado.

Para o planejamento do tempo de detenção hidráulica no Wetland Construída, foi empregada a equação (5), utilizando o volume do canal obtido pela pesquisa (4), além dos valores de vazão e porosidade. Para a configuração do tempo de detenção hidráulico, foram utilizados os parâmetros apresentados na tabela 13 abaixo:

Tabela 13 – Dados para resolução da equação (5)

INDICADOR	DADOS
Porosidade do Meio Suporte	$0,35 m^3$ vazios. m^{-3} material
Volume do Canal	$2,646 m^3$
Vazão de Efluente	$1,143 m^3/dia$

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

De acordo com o estudo de Silva (2022) a faixa de valores para o tempo de detenção hidráulica varia entre 0,5 e 12,3 dias. Com base nesses parâmetros e nos dados específicos do sistema, chegou-se à conclusão de que o tempo de detenção hidráulica calculada é de 0,81 dias.

O processo de dimensionamento do sistema de Wetlands Construídos de fluxo horizontal subsuperficial teve como objetivo principal adequar o tratamento das águas residuárias geradas pela agroindústria de polpa de frutas. Através de cálculos baseados em parâmetros como a

vazão de efluentes, temperatura e a constante de reação, foi possível determinar as dimensões necessárias para que o sistema opere. A seguir, na tabela 14 estão ilustrados os resultados obtidos para o WC-HSS:

Tabela 14 – Sintetização dos resultados de dimensionamento

DADOS OBTIDOS			
PARAMETROS		RESULTADO	
Vazão média diária de efluente gerado		1,143 m ³ /dia	
Constante de reação		0,45 d ⁻¹	
Temperatura crítica de operação		25,8° C	
Concentração afluente em termos de DBO ₅		650 mg/L	
Concentração efluente em termos de DBO ₅		390 mg/L	
Constante de reação da cinética de primeira ordem		0,63 T/d	
Profundidade adotada		0,60 m	
Porosidade do material filtrante		0,35 m ³ vazios.m ⁻³ material	
Área superficial requerida (m ²)	4,41 m ²	Comprimento	2,50m
		Largura	1,76m
Volume do canal		2,646 m ³	
Tempo de detenção hidráulica		0,81 dias	
Zona de entrada		0,5m	
Zona de entrada		0,5m	
Profundidade da lâmina de esgoto		0,50m	
Diâmetro da tubulação		75mm	

Fonte: Elaborado pela autora (2024).

4.5 COMPONENTES DO SISTEMA DIMENSIONADO

Para esse sistema, dada sua configuração, o dimensionamento e as características da região de estudo, podemos utilizar as seguintes plantas: *Typha domingensis* (taboa), amplamente adaptada a biomas como Amazônia, Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica, e eficiente na remoção de nutrientes e sólidos suspensos, conforme Silveira (2020); *Eichhornia crassipes* (aguapé), uma planta nativa e presente na região amazônica, incluindo Rondônia, recomendada por Moretti (2021) por sua capacidade de absorção de nutrientes e metais pesados; e *Heliconia spp.* (helicônia ou caeté), que é adaptada ao bioma amazônico e às condições de Rondônia, e que segundo CEVE (2015) apresenta eficiência de aproximadamente 89%, no entanto ainda se faz necessários estudos que comprovem sua eficiência em sistemas de fluxo horizontal.

Além disso, podemos utilizar como meio filtrante nesse sistema os seguintes materiais: cascalho grosso, brita e areia grossa. Como no cálculo a porosidade do meio filtrante foi estabelecida em 35%, esses materiais foram escolhidos por oferecerem essa porosidade e, portanto, são adequados para o sistema proposto. O cascalho grosso, com diâmetro entre 15 e

30 mm, permite o escoamento eficiente do efluente e é resistente à colmatação; a brita, com granulometria semelhante, contribui para a estabilidade do leito e para a fixação de microrganismos; e a areia grossa, utilizada nas camadas superiores, auxilia na retenção de partículas menores, garantindo a qualidade final da água tratada.

Seguindo o dimensionamento, a tubulação sugerida é a de 75 mm, conforme orienta a NBR 8160 para tubulação de esgoto, garantindo o escoamento adequado do efluente no sistema. O resultado desse dimensionamento está representado na planta baixa, apensada ao trabalho, que detalha a disposição dos componentes e o fluxo do sistema. Essa planta faz parte dos objetivos específicos do estudo, possibilitando uma visualização clara da estrutura do sistema projetado.

A disposição dos componentes mencionados, conforme planta baixa apensada ao trabalho, composta por zonas de entrada, meio filtrante e saída do efluente tratado. Nesse layout, é possível visualizar como as tubulações, o meio filtrante e representação das plantas aquáticas – *Typha domingensis*, *Eichhornia crassipes* e *Heliconia spp.* – estão organizados ao longo do percurso de escoamento horizontal. A disposição das plantas é planejada para otimizar o processo de tratamento, com cada espécie ocupando zonas específicas no sistema e contribuindo de maneira complementar para a remoção de poluentes. Esse esquema gráfico, elaborado como parte dos objetivos específicos do estudo, facilita o entendimento das relações entre os componentes e a sequência de fluxo do efluente desde a entrada até a saída, otimizando a operação e a eficiência do sistema projetado.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme estipulado no cálculo de concentração de DBO efluente no item 4.2.4, considerando a eficiência de remoção mínima de 60% recomendada pela Resolução CONAMA Nº 430/2011, espera-se atingir com o projeto executado. O qual também possibilita o reuso da água para fins não potáveis, como irrigação de bananeiras presente na propriedade em estudo, reforçando o compromisso com a preservação dos recursos hídricos e práticas sustentáveis na agroindústria.

A vazão média diária de efluentes varia entre 0,571 m³/dia e 1,143 m³/dia, com uma constante de reação cinética de 0,45 d⁻¹ a 25,8°C. O sistema requer uma área mínima de 4,41 m² e um volume de 2,646 m³, com tempo de detenção de 0,81 dias. Dessa forma, o estudo confirma a viabilidade técnica e ambiental dos Wetlands Construídos, sendo uma solução adequada para diferentes escalas produtivas.

Com a continuidade desses estudos, espera-se que o sistema de Zonas Húmidas Construídos se consolide como uma alternativa sustentável e eficiente para o tratamento de efluentes na agroindústria de polpa de frutas, adaptando-se a diferentes escalas e características de produção em áreas rurais. Apesar dos resultados positivos, é necessário realizar novos estudos que aperfeiçoem os cálculos e adaptem o sistema a diferentes realidades, considerando as variabilidades regionais e as especificidades de cada tipo de efluente gerado.

Recomenda-se a avaliação de espécies vegetais mais específicas da região amazônica, que delimitem mais a região do estado de Rondônia abrangendo Ariquemes e municípios vizinhos, como forma de otimizar a adaptação e o desempenho do sistema nas condições locais.

REFERÊNCIAS

- AGUILAR, Marcel. **Dimensionamento de Wetlands em uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Efluente de um Abatedouro de Codornas no Oeste de Santa Catarina.** Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Civil. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2020. Disponível em: <https://riut.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/27492>. Acesso em: 08 set. 2024.
- ALVES, Nicole Lambert. **Proposta De Implantação De Um Sistema De Wetland Construída Para O Tratamento De Esgoto, Na Zona Rural Do Município De Toledo-MG.** 2018. 44 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Extrema - FAEX, Extrema, 2018. Disponível em: <https://repositorio.faex.edu.br/index.php/faex/catalog/book/16>. Acesso em: 06 ago. 2024.
- BARROS, Eduardo Souza Costa. **Remoção de carga orgânica do efluente da agroindústria da Acerola (Malpighia Emarginata D.C.) em reator UASB.** 2017. 59 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campus Juazeiro, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, 2017. Disponível em: <http://www.univasf.edu.br/~tcc/00000d/00000d5e.pdf>. Acesso em: 08 ago. 2024.
- BASTOS, M. Do S. R.; Souza Filho, M. De S. M. De; Machado, T. F.; Oliveira, M. E. B. De; Abreu, F. A. P. De; Cunha, V. De A. **Manual de boas práticas de fabricação de polpa de fruta congelada.** Fortaleza: Embrapa - CNPAT / SEBRAE/CE, 1999. 52 p. (Embrapa - CNPAT - Documentos, 30). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/425855?mode=simple>. Acesso em: 03 ago. 2024.
- BEGOSSO, Larissa. **Determinação de parâmetros de projeto e critérios para dimensionamento e configuração de wetlands construídas para tratamento de água cinza.** 2009. 53 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2009. Disponível em: <https://repositorio.ufms.br/handle/123456789/1498>. Acesso em: 03 ago. 2024.
- BEGOSSO, Larissa; PANSONATO, Natalia; SOUZA, Hugo Henrique de Simone; AZEVEDO, Cláudia; AZEVEDO, Cláudia; PAULO, Paula Loureiro. **Configuração De Wetlands Construídos Para O Tratamento De Água Cinza.** In: XVIII Simpósio Brasileiro De Recursos Hídricos, Não use números Romanos ou letras, use somente números Arábicos., 2009, Campo Grande. Anais [...] . Campo Grande: Abrhidro, 2014. p. 1-13. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=10830>. Acesso em: 10 ago. 2014.
- BERNARDO, Eduardo L.; KOTTWITZ, Cristiano; MIRANDA, Cláudio R. de; SEZERINO, Pablo. **Dimensionamento De Um Sistema Secundário De Tratamento De Efluentes Sanitários Através De Filtros Com Macrófitas.** Embrapa, Concórdia., v. 9, n. 1, p. 88-89, 22 out. 2015. Anual. Disponível em:

<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1031842/1/final8061.pdf>. Acesso em: 08 set. 2024.

BOMFIM, Ananda Bezerra. **Caracterização de polpas de frutas congeladas produzidas no maciço de Baturité**. 2016. 52 f. TCC (Graduação) - Curso de Agronomia, Instituto de Desenvolvimento Rural, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-brasileira, Redenção-Ceara, 2016. Disponível em: <https://repositorio.unilab.edu.br/jspui/handle/123456789/411>. Acesso em: 03 ago. 2024.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada – **RDC nº 216, de 15 de setembro de 2004**. Dispõe sobre o Regulamento Técnico de Boas Práticas para Serviços de Alimentação. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 17 set. 2004. Seção 1, p. 25. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2004/res0216_15_09_2004.html. Acesso em: 03 ago. 2024.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 430, de 13 de setembro de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões para o lançamento de efluentes líquidos industriais, comerciais e de serviços em águas interiores, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 14 set. 2011. Seção 1, p. 3. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=114770>. Acesso em: 05 mai. 2024.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Estabelece a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 9 jan. 1997. Seção 1, p. 1. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm. Acesso em: 05 mai. 2024.

BRASIL. **Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998**. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 13 fev. 1998. Seção 1, p. 1. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm. Acesso em: 05 mai. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Fundação Nacional de Saúde. Programa Nacional de Saneamento Rural / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde**. – Brasília: Funasa, 2019. 260 p. ISBN: 978-85-7346-065-0. Disponível em: https://www.funasa.gov.br/documents/20182/38564/MNL_PNSR_2019.pdf. Acesso em: 24 ago. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 1.428, de 26 de dezembro de 1993**. Aprova o Regulamento Técnico para o controle sanitário do funcionamento e da produção de alimentos em unidades de alimentação e nutrição. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 27 dez. 1993. Seção 1, p. 23427. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/1993/prt1428_26_11_1993.html. Acesso em: 03 ago. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 326, de 30 de julho de 1997**. Aprova o Regulamento Técnico para o controle sanitário do funcionamento e da produção de alimentos

em unidades de alimentação e nutrição. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 31 jul. 1997. Seção 1, p. 14200. Disponível em: https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/svs1/1997/prt0326_30_07_1997.html. Acesso em: 03 ago. 2024.

CARVALHO, Rebecca Vanielly Santana de. **Wetland Construído: Uma Alternativa Ao Uso De Tanque Séptico Filtro Anaeróbio Para A Remoção De Matéria Orgânica**. 2018. 43 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/24399/1/TCC%20completo%20corrigido.pdf>. Acesso em: 26 jul. 2024.

CÁSPAR, Isabella Eunice Soares. **O Paisagismo em Wetlands Construídos – Três Corações: Universidade Vale do Rio Verde**, 2020. 92 fls. il. Disponível em: https://www.unincor.br/images/arquivos_mestrado_hidrico/producao-tecnica/paisagismo-em-wetlands.pdf. Acesso em: 24 ago. 2024.

CASTRO, C. N. DE; CEREZINI, M. T. TD 2875 - **Saneamento rural no Brasil: a universalização é possível?** Texto para Discussão, p. 1–66, 2023. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11979/1/TD_2875_web.pdf. Acesso em: 24 ago. 2024.

CEVE, Abel. **Avaliação de wetland construído de fluxo subsuperficial horizontal para o tratamento de esgoto sanitário**. 2015. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015. Disponível em: http://repositorio.utfpr.edu.br:8080/jspui/bitstream/1/9676/3/CT_COPAM_2015_1_01.pdf. Acesso em: 28 out. 2024.

DEBUSK, T. A., Reddy, K. R. T., Hayes, D. And Schwegler, B. R. Jr. **Performance of a pilot-scale water hyacinth-based secondary treatment system**. *J. Water Pollute. Control Fed.* 61:1217, 1989. Disponível em: https://www.oieau.fr/eaudoc/system/files/documents/3/15550/15550_doc.pdf. Acesso em: 05 mai. 2024.

FEIO, Vanessa Farias. **Verificação da tratabilidade de água residuária oriunda de beneficiamento do açaí por processo físico-químico**. 2016. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Belém, 2016. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Disponível em: <https://www.repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/7950?mode=simple>. Acesso em: 09 ago. 2024.

FIA, F. R. L. et al. **Remoção de matéria orgânica e determinação de parâmetros cinéticos em sistemas alagados construídos em escala laboratorial**. *Acta Scientiarum Technology*, v. 34, n. 2, 2012. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/3032/303226535004.pdf>. Acesso em: 08 set. 2024.

FILHO, Geraldo Inácio Silva. **Tratamento de esgoto utilizando a ecotecnologia Wetlands Construídos para sistemas coletivos de pequeno porte**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Campus de Crateús,

Universidade Federal do Ceará, Crateús, 2022. Disponível em:
<http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/71466>. Acesso em: 30 jul. 2024.

FUGITA, Sandra Ruri. **Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Escola Superior da CETESB. Gestão do Conhecimento Ambiental. Módulo II – Prevenção da Poluição Ambiental e Controle de Fontes. Fundamentos do Controle de Poluição das Águas.** São Paulo: CETESB 2018. 228 p. (Apostila da turma 3: Conformidade Ambiental com Requisitos Técnicos e Legais). Acesso em: 09 jul. 2024.

GARCIA, Lucas do Carmo. **Avaliação do desempenho de uma wetland construída no tratamento de efluentes.** Orientação de Marta Siviero Guilherme Pires. Campinas, SP: [s.n.], 2019. TCC. (1 recurso online (37 p.)), il., digital, arquivo PDF. Disponível em:
<https://hdl.handle.net/20.500.12733/1427>. Acesso em: 01 ago. 2024.

GORGOGNONE, Angela; TORRETTA, Vincenzo. **Sustainable Management and Successful Application of Constructed Wetlands: A Critical Review.** Sustainability, v. 10, n. 11, p. 3910, 27 out. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su10113910>. Acesso em: 5 maio 2024.

Indústria de bebidas e seus efluentes - TECMA Tecnologia. (2019, 25 de novembro). TECMA Tecnologia. <https://www.tecma-tecnologia.com.br/web/posts/industria-de-bebidas/>. Acesso em: 09 jul. 2024.

ISTAN, Liamara Pasinato *et al.*. Seminário de Ensino Pesquisa e Extensão (20: 2015: Cruz Alta) Anais do **XX Seminário Interinstitucional de Ensino, Pesquisa e Extensão, XVIII Mostra de Iniciação Científica**; XIII Mostra de Extensão, II Mostra da Pós-Graduação e I Mostra de Iniciação Científica Júnior, “Ciência, Tecnologia e Inovação” de 20 a 22 de outubro de 2015. ISBN 2176-5065. Disponível em:
<https://www.unicruz.edu.br/seminario/anais/anais-2015/XX%20SEMIN%20C3%81RIO%20INTERINSTITUCIONAL%202015%20-%20ANAIS/Graduacao/Graduacao%20-%20Trabalho%20Completo%20-%20Sociais%20e%20Humanidades/AGROINDUSTRIA%20FAMILIAR%20UMA%20ESTRATEGIA%20DE%20GERACAO%20DE%20RENTA.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2024.

JÚNIOR, Édio Damásio da Silva. **Influência climática em modelos cinético hidrodinâmicos para dimensionamento de wetlands construídas no tratamento de esgoto doméstico.** 2018. xvi, 201 f., il. Tese (Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos)—Universidade de Brasília, Brasília, 2018. Disponível em:
<https://repositorio.unb.br/jspui/handle/10482/34753>. Acesso em: 05 ago. 2024.

KURIKI, Mikaele Silva. **Wetland Construído de Bancada para Tratamento de Esgoto: Definição de um Procedimento Operacional Padrão de Baixo Custo / Mikaele Silva Kuriki – Cuiabá, 2020. 67 f.; 30 cm.** Disponível em:
https://portal.unemat.br/media/files/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20FINAL_Mikaele%20Silva%20Kuriki.pdf. Acesso em: 05 ago. 2024.

LEAL, Juliana da Silva Garcia. **Wetland construído para tratamento de efluente secundário de condomínio empresarial, Uberlândia-MG.** 2019. 63 p. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental) - Universidade Federal de Uberlândia,

Uberlândia-MG, 2019. DOI <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2019.1316>. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/25997>. Acesso em: 30 jul. 2024.

LEMOS, Victoria Cecilia Moreira Nunes. **Tratamento de efluentes da indústria de sucos**. 2017. 35 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/29118/5/TratamentoEfluentesIndustria.pdf>. Acesso em: 09 ago. 2024.

MACHADO, Flávia de Oliveira. **Tratamento dos efluentes líquidos gerados pelas indústrias de sucos no Brasil**. 2019. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/36512>. Acesso em: 09 jul. 2024.

MATHEUS, Prof. Dr. Dácio Roberto *et al* (org.). **Manual De Sistemas De Wetlands Construídas Para O Tratamento De Esgotos Sanitários**. Santo André: Universidade Federal do Abc, 2018. 52 p. Disponível em: https://fliphtml5.com/wskm/xzho/Manual_de_sistemas_de_Wetlands_constru%C3%ADdas_para_o_tratamento_de_esgotos_sanit%C3%A1rios/. Acesso em: 16 jul. 2024.

MELO, Josué Fabiano; LINDNER, Elfride Anrain. **Dimensionamento Comparativo Entre Sistemas de Lagoas e de Zonas de Raízes Para o Tratamento de Esgoto de Pequena Comunidade**. In: Iniciação Científica CESUMAR - jan./jun. 2013, v. 15, n. 1, p. 33-44. Disponível em: <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/icesumar/article/view/2837>. Acesso em: 06 jul. 2024.

MENDONÇA, Alexandre Antonio Jacob de. **Avaliação de um sistema descentralizado de tratamento de esgotos domésticos em escala real composto por tanque séptico e wetland construída híbrida**. Dissertação (Mestrado em Saúde Ambiental) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015. doi:10.11606/D.6.2016.tde-25052016-122129. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/escolasuperior/wp-content/uploads/sites/30/2016/06/Alexandre-4.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2024.

METEOBLUE. **Mudança climática Ariquemes - meteoblue**. Set. 2024. Disponível em: https://www.meteoblue.com/pt/climate-change/ariquemes_brasil_3665199. Acesso em: 22 ago. 2024.

MORETTI, Érika Rabello. **Biogás a partir de macrófitas: uma valorização energética de resíduos de wetlands construídos**. 2021. 1 recurso online (99 p.) Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, SP. Disponível em: <https://hdl.handle.net/20.500.12733/5744>. Acesso em: 28 out. 2024.

OLIVEIRA, Jonatas José Lobo *et al*. **DIMENSIONAMENTO DE WETLANDS CONSTRUÍDOS: Uma análise de diferentes métodos para aplicabilidade na região sul do Ceará**. Egedin., **Dimensionamento de Wetlands Construídos: Uma Análise de Diferentes Métodos Para Aplicabilidade na Região Sul do Ceará**, v. 4, n. 1, 13 mar. 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufms.br/index.php/EIGEDIN/issue/view/620>. Acesso em: 07 jul. 2024.

OLIVEIRA, Laila de Oliveira Vaz. **Características sensoriais e o risco microbiológico em águas cinza tratadas para reúso predial**. 2015. 174 f. Tese (pós-graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2015. Disponível em:

https://sappg.ufes.br/tese_drupal//tese_9427_TESE%20LAILA%20VAZ.pdf. Acesso em: 30 jul. 2024. Acesso em: 03 ago. 2024.

PAOLI, André Cordeiro de. **Análise De Desempenho E Comportamento De Wetlands Horizontais De Fluxo Subsuperficial Baseado Em Modelos Hidráulicos E Cinéticos**.

2010. 165 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010. Disponível em:

<https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/ENGD-88QP8H?mode=simple>. Acesso em: 02 ago. 2024.

PELLISSARI, C. et al. **Incorporação de nitrogênio e fósforo no tecido foliar da macrófita *Typha domingensis* Pers. durante o tratamento de efluente da bovinocultura leiteira em wetlands construídos**. Engenharia sanitária e ambiental, v. 24, n. 3, p. 585–590, 2019. DOI: 10.1590/S1413-41522019109345. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/esa/a/Nqrc6gSKRVgz5DJHfK5XqVJ/?lang=pt#>. Acesso em: 05 ago. 2024. Acesso em: 30 jul. 2024.

PLATZER, C.; HOFFMANN, H.; CARDIA, W.; COSTA, R.H.R. (2007) **Dimensionamento de wetland de fluxo vertical com nitrificação – Adaptação de modelo europeu para as condições climáticas do Brasil**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24., 2007. Anais... Belo Horizonte: ABES. Disponível em:

<https://www.susana.org/en/knowledge-hub/resources-and-publications/library/details/944#>. Acesso em: 06 jul. 2024.

PLENTZ, Júnia Beatriz Wendt. **Avaliação e instalação de um sistema wetland construído para tratamento de chorume no aterro sanitário de Lajeado/RS**. 2014. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado, 20 fev. 2015. Disponível em:

<https://www.univates.br/bduserver/api/core/bitstreams/48adf299-218e-4265-aef1-9093241e3c93/content>. Acesso em: 07 set. 2024.

QUINTINO, S. M.; PASSOS, A. M. A. dos; MORET, A. de S. **Potencialidades sustentáveis da biodiversidade da Amazônia para a agricultura familiar**. In: ENCONTRO RODONIENSES DE ADMINISTRADORES E TECNÓLOGOS, 2., 2017, Porto Velho.

[Anais]. Porto Velho: Conselho Federal de Administração, 2017. p. 79-97. Disponível em:

<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1084461/potencialidades-sustentaveis-da-biodiversidade-da-amazonia-para-a-agricultura-familiar>. Acesso em: 24 ago. 2024.

ROCHA, Mariana. SANTOS, Bernadete. CARVALHO, Gilson Lemos de. **A Biotecnologia Dos Jardins Filtrantes Da Despolição Da Lagoa Da Pampulha**. Revista Científica Semana Acadêmica. Fortaleza, ano MMXVI, Nº. 000085, 30/06/2016. Disponível em:

<https://semanaacademica.org.br/artigo/biotecnologia-dos-jardins-filtrantes-da-despoluicao-da-lagoa-da-pampulha>. Acesso em: 06 jul. 2024.

RODRIGUES, M. V. C. **Wetland construído de fluxo vertical empregado no tratamento de esgoto de um restaurante universitário**. 2016. 97 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental). – Curso de Engenharia ambiental – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2016. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/12048/3/LD_COEAM_2016_1_13.pdf. Acesso em: 09 mai. 2024

RONDÔNIA, Governo do Estado de. SEAGRI. **Mais de 70 agroindústrias familiares de Rondônia trabalham com a produção de polpa de frutas**. Rondônia, 12 jan. 2021. Disponível em: <https://rondonia.ro.gov.br/mais-de-70-agroindustrias-familiares-de-rondonia-trabalham-com-a-producao-de-polpa-de-frutas/>. Acesso em: 03 ago. 2024.

SANTOS, Mateus Souza. **Avaliação de sistema híbrido de wetlands construídas com e sem recirculação** / Mateus Souza Santos; orientador Dr. Édio Damásio da Silva Júnior . -- Rio Verde, 2022. 80 p. Disponível em: https://sistemas.ifgoiano.edu.br/sgcursos/uploads/anexos_14/2024-03-14-02-03-484%20-%20Disserta%C3%A7%C3%A3o%20final%20-%20Mateus%20Souza%20Santos%20PPGEAS.pdf. Acesso em: 05 ago. 2024.

SARTOR, D. et al. **Dimensionamento e avaliação de wetland construído utilizado para tratamento de efluente doméstico em área rural: um estudo de caso**. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, v. 12, n. 6, p. 288–296, 2021. Disponível em: <https://sustenere.inf.br/index.php/rica/article/view/5769>. Acesso em: 07 jul. 2024.

SENAR. Boas Práticas. Rondônia: SENAR, 2009. 30p. (**Apostila do curso Boas Práticas de Fabricação**), Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. Acesso em: 03 ago. 2024.

SEZERINO et al. Brasil. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Cartilha Wetlands construídos aplicados no tratamento de esgoto sanitário: recomendações para implantação e boas práticas de operação e manutenção/ Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde**. – Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2018 56 p. : il. ISBN 978-85-8388-127-8. Disponível em: <https://gesad.ufsc.br/files/2019/01/Sezerino-et-al.-2018.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2024.

SEZERINO, P. H. et al. **Experiências brasileiras com wetlands construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais**. Engenharia sanitária e ambiental, v. 20, n. 1, p. 151–158, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/8zwy5WwwLZVxRk5btDHDMkG/#ModalHowcite>. Acesso em: 05 ago. 2024.

SILVA, Daiana Camila da. **Avaliação de efluentes citrícolas na geração de biohidrogênio e co-produtos de valor agregado em reatores anaeróbios em batelada** / Daiana Camila da Silva. -- Araraquara, 2022 133 f. : il. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Química, Araraquara. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/cc6872ab-a2f4-4aca-81a4-ff6cc2b6fb43/content>. Acesso em: 09 ago. 2024.

SILVA, Patrícia Volpp. **Projeto E Estimativa De Custos Para Implantação De Wetland Construído Em Residência Unifamiliar No Loteamento Setor Sul Do Município De Itaberai-Go**. 22. 25 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Inhumas

Facmais, Inhumas, 2022. Disponível em:

<http://65.108.49.104/bitstream/123456789/564/1/tcc%20patricia.pdf>. Acesso em: 05 ago. 2024.

SILVA, Wilson Tadeu Lopes da. **Saneamento básico rural** / Wilson Tadeu Lopes da Silva. – Brasília, DF: Embrapa, 2014. 68 p.; il.; 11 cm x 15 cm. – (ABC da Agricultura Familiar, 37). ISBN 978-85-7035-376-4. Disponível em:

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/128259/1/ABC-Saneamento-basico-rural-ed01-2014.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2024.

SILVEIRA, F. F. Flora Campestre, 2020. **Laboratório de Estudos em Vegetação Campestre - UFRGS**. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/floracampestre/typhadomingensis-taboa/>. Acesso em: 30 jul. 2024.

SOUZA, Alexia Rodrigues Gomes de. **Análise Da Viabilidade De Aplicação De Sistemas Wetlands Construídos Para Tratamento De Efluentes Provenientes De Loteamentos E Condomínios**. 2018. 94 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2018. Disponível em:

<http://repositorio.unesc.net/handle/1/9780?mode=simple>. Acesso em: 01 set. 2024.

SOUZA, Ligia da Paz de et al.. **Dimensionamento De Um Sistema Wetlands Construídos De Fluxo Horizontal Para Tratamento Do Efluente De Uma Residência Rural**. In: Anais do XVII Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Ambiental e V Fórum Latino-Americano de Engenharia e Sustentabilidade. Anais...João Pessoa (PB) UFPB, 2019.

Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/ENEEAmb/156634-DIMENSIONAMENTO-DE-UM-SISTEMA-WETLANDS-CONSTRUIDOS-DE-FLUXO-HORIZONTAL-PARA-TRATAMENTO-DO-EFLUENTE-DE-UMA-RESIDEN>. Acesso em: 06 jul. 2024.

SOUZA, Luiz Barboza de. **Dimensionamento de um sistema wetland construído para o tratamento de esgotos no distrito de Tamoios-Cabo Frio/RJ**. Trabalho de Conclusão de Curso. Curso de Bacharelado em Engenharia Civil. Campus Macaé. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2017. Disponível em:

https://engenharias.macaue.ufrj.br/images/testetcc/2017/TCC_Luiz_Henrique_Barbosa_de_Souza_Civil.pdf. Acesso em: 16 jul. 2024.

TEIXEIRA, Júnia Pereira. **Construção e aplicabilidade do sistema wetland construído de fluxo subsuperficial horizontal no tratamento de água cinza para reúso não potável**.

2018. 55 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental e Sanitarista, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018. Disponível em:

<https://www.dcta.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/21/2018/09/J%C3%BAnia-Pereira-Teixeira.pdf>. Acesso em: 03 ago. 2024.

VON SPERLING, M.; Sezerino, P.H. (2018). **Dimensionamento de wetlands construídos no Brasil. Boletim Wetlands Brasil, Edição Especial, dezembro/2018**. 65 p. ISSN 2359-0548. Disponível em: <https://gesad.ufsc.br/files/2018/12/Boletim-Wetlands-Brasil-Edi%C3%A7%C3%A3o-Especial-Dimensionamento-de-Wetlands-Constru%C3%ADdos-no-Brasil-von-Sperling-Sezerino-2018-2.pdf>. Acesso em: 15 mai. 2024.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos** / Marcos von Sperling. 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. 472 p.: il. (Princípios do

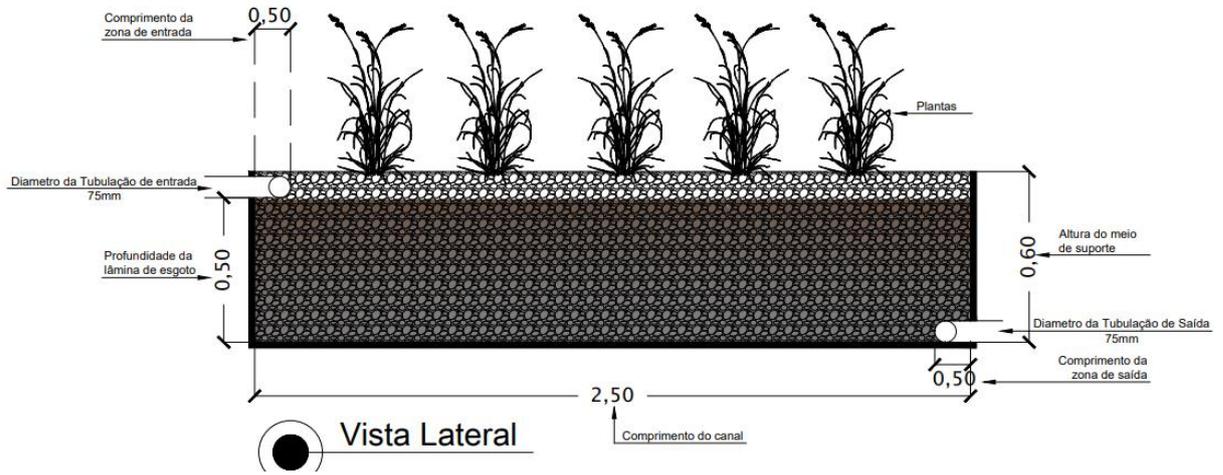
tratamento biológico de águas residuárias ; v. 1) ISBN: 978-85-423-0053-6. Acesso em: 09 jul. 2024.

WEBER, Conrado Folle; PRADO, Marcelo Real; VAN KAICK, Tamara Simone.

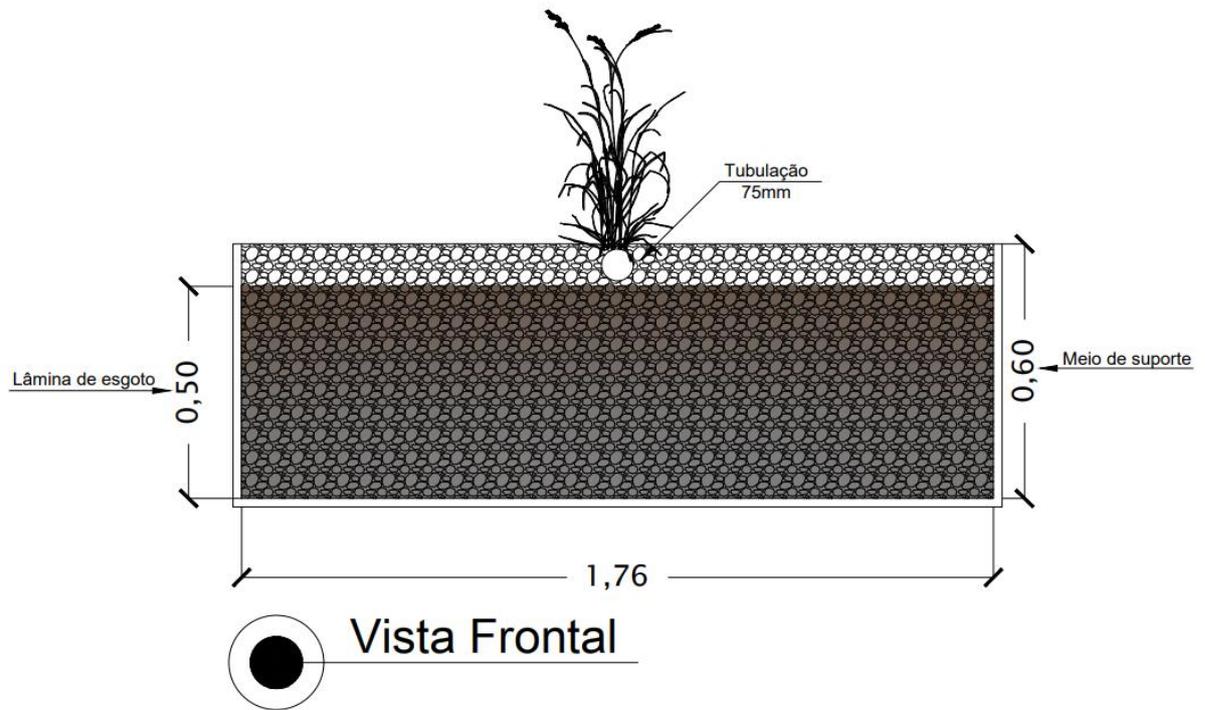
Dimensionamento de wetlands construídas em sistemas individuais de tratamento de esgoto sanitário. In: Simpósio Brasileiro Sobre Aplicação De Wetlands Construídos No Tratamento De Águas Residuárias, 2., 2015, Curitiba. Anais do 2º Simpósio Brasileiro sobre Aplicação de Wetlands Construídos no Tratamento de Águas Residuárias, Curitiba, 2015. Resumo. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2016/03/Dimensionamento-de-Wetlands-Constru%C3%ADdas-em-Sistemas-Individuais-de-Tratamento-de-Esgoto-Sanit%C3%A1rio.pdf>. Acesso em: 06 jul. 2024.

WETLANDS: uma solução ecológica de tratamento de efluentes - ROTÁRIA. (s.d.). Rotária. Disponível em: <https://brasil.rotaria.net/wetlands-uma-solucao-ecologica-de-tratamento-de-efluentes/>. Acesso em: 09 jul. 2024.

APÊNDICE A – LAYOUT DE VISTA LATERAL DO DIMENSIONAMENTO DO WETLANDS CONSTRUIDO



**APÊNDICE B – LAYOUT DE VISTA FRONTAL DO DIMENSIONAMENTO DO
WETLANDS CONSTRUIDO**



**APÊNDICE C – LAYOUT DE VISTA SUPERIOR DO DIMENSIONAMENTO DO
WETLANDS CONSTRUIDO**

