

UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL –  
MESTRADO

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM GESTÃO E TECNOLOGIA AMBIENTAL

MAURICIO KERSTING

TRATAMENTO DAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS GERADAS NO HOSPITAL  
VETERINÁRIO DA UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL (UNISC)  
ATRAVÉS DE SISTEMA INTEGRADO

Santa Cruz do Sul

2024

Mauricio Kersting

TRATAMENTO DAS ÁGUAS RESIDUÁRIAS GERADAS NO HOSPITAL  
VETERINÁRIO DA UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL (UNISC)  
ATRAVÉS DE SISTEMA INTEGRADO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental – Mestrado, Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, como requisito parcial para o título de Mestre em Tecnologia Ambiental.

Orientador (a): Prof.<sup>(a)</sup> Dr. Carlos Alexandre Lutterbeck

Co-orientador (a): Prof.<sup>(a)</sup> Dr. Ênio Leandro Machado

Santa Cruz do Sul  
2024

Dedico esta dissertação em especial a minha esposa e meu filho e aos meus pais que este trabalho está sendo dedicado a vocês minhas fontes de inspiração, falar que dedico a vocês e dizer que amo muito vocês que sem vocês eu nunca serei nada nesta vida, com todo o amor dedico a vocês que sempre serviram de exemplo a mim. Que meu filho tenha orgulho de mim como pai como eu tenho orgulho de vocês.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus primeiramente pelos dias que foram me concedidos com saúde e com força para me ajudar nesta caminhada, Agradeço a minha esposa e companheira que amo muito, Amanda dos Santos Kersting, que esteve comigo nas horas que mais precisei e que sempre me apoiou e me deu forças para seguir adiante. Também agradeço ao meu filho Ramiro Miguel Kersting. Tudo que estou fazendo é por você! Agradeço aos meus pais Wanderlei Kersting e Mari Regina da Silva por sempre me mostrarem o caminho certo e sempre me apoiaram nos estudos. Aos meus professores orientadores Dr. Carlos Alexandre Lutterbeck e ao Dr. Ênio Leandro Machado por todo o apoio e dedicação ao longo desta jornada. Sem eles seria impossível desempenhar tal projeto e cada dia sem medir esforços para me ajudar. Agradeço de coração a Dra. Rosana de Cássia de Souza Schneider pelo apoio e as grandes motivações dentro do curso. Agradeço também a Mariana Bertol minha prima, uma irmã para mim que nunca hesitou em me ajudar. Agradeço a todos que me ajudaram a tornar este sonho realidade, como os meus colegas de laboratório Helem Amanda Kopp, Guilherme Lemões Iespen e Derick Karsburg Perez. Agradeço aos meus amigos e compadres Deison Antonio Taufer Fochi e Leticia Mesacasa por estarem sempre presentes nas horas que mais precisei e sempre pelo apoio e conselhos. Agradeço com enorme carinho a todos os meus colegas do PPGTA (Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental) por sempre ter apoio de todos vocês e pela enorme colaboração de aprendizagem. Por fim, gostaria de agradecer a CAPES e CNPQ e o Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental.

## RESUMO

Atualmente, a preocupação com os poluentes farmacêuticos e veterinários tem gerado grande atenção ambiental, devido ao crescente consumo desses medicamentos e à liberação inadequada de seus resíduos no meio ambiente. Em hospitais veterinários, há uma elevada utilização de medicamentos, e frequentemente os efluentes gerados não recebem tratamento adequado, sendo lançados diretamente em corpos hídricos. Este trabalho teve como objetivo avaliar a gestão sustentável das águas em um hospital veterinário universitário, considerando o projeto de construção da estação de tratamento de efluentes (ETE), a operação inicial do sistema e o monitoramento de parâmetros associados à avaliação da genotoxicidade do efluente tratado.

Inicialmente, foi realizada uma Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) da ETE do Hospital Veterinário da Universidade de Santa Cruz do Sul (HV-UNISC), abrangendo as etapas de construção, consumo de energia e pegada de carbono. Além disso, foi conduzido um estudo experimental para avaliar o desempenho operacional do sistema. A análise da ACV indicou que a estação de tratamento de águas residuárias apresentou eficiência superior a 90% na redução do potencial eutrofizante e da depleção de oxigênio dissolvido nos efluentes, além da geração de mais de 180 toneladas de metano biogênico (CH<sub>4</sub>). A etapa de construção demonstrou impacto ambiental significativo, com destaque para o sistema de Wetlands Construídos de Fluxo Horizontal Subsuperficial (SSHFCW), responsável por 36,6% do impacto identificado. A operação do sistema também apresentou impacto relevante devido ao uso de energia elétrica gerada a partir de óleo diesel (23,3%). A pegada de carbono do sistema foi estimada em 2.380 tCO<sub>2</sub>eq ao longo de 20 anos.

O desempenho da estação de tratamento foi avaliado com base em parâmetros como Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO<sub>5</sub>), Demanda Química de Oxigênio (DQO), fósforo total, pH, turbidez, condutividade elétrica, nitrogênio amoniacal, sólidos totais dissolvidos (STD), nitrogênio total (NT), carbono orgânico total (COT) e carbono inorgânico (CI). O sistema integrado, incluindo os Wetlands Construídos de Fluxo Horizontal Subsuperficial, demonstrou eficiência na remoção de poluentes, com reduções médias de 98% para DQO, 59% para DBO<sub>5</sub>, 87,5% para NT, 44% para fósforo total, 83,8% para COT, 69,9% para CI, 95% para turbidez e 78% para STD.

Os resultados confirmaram a eficácia do sistema integrado como uma alternativa promissora para o tratamento de efluentes hospitalares veterinários. Este estudo avaliou tanto a entrada quanto a saída do sistema integrado, considerando todas as etapas de tratamento implementadas. A pesquisa destaca a relevância de sistemas compostos, como os Wetlands Construídos, para melhorar a qualidade dos efluentes tratados em hospitais veterinários.

**Palavras-chave:** Hospital Veterinário; Tratamento de Efluentes; Sistema Integrado de Tratamento; *Wetlands* Construídos; Análise de Ciclo de Vida.

## ABSTRACT

Currently, the concern about pharmaceutical and veterinary pollutants has gained significant environmental attention due to the increasing consumption of these medications and the inadequate disposal of their residues into the environment. Veterinary hospitals frequently use large quantities of pharmaceuticals, and the generated effluents are often untreated, being directly discharged into water bodies. This study aimed to evaluate sustainable water management in a university veterinary hospital, including the construction project of the wastewater treatment plant (WWTP), its initial operation, and monitoring of parameters related to the ge

A Life Cycle Assessment (LCA) was conducted on the WWTP at the Veterinary Hospital of the University of Santa Cruz do Sul (HV-UNISC), focusing on construction phases, energy consumption, and carbon footprint. Additionally, an experimental study was performed to evaluate the operational performance of the system. The LCA analysis indicated that the wastewater treatment station achieved over 90% efficiency in reducing eutrophication potential and dissolved oxygen depletion in effluents, along with the generation of over 180 tons of biogenic methane (CH<sub>4</sub>). The construction phase showed a significant environmental impact, particularly the Subsurface Horizontal Flow Constructed Wetlands (SSHFCW), accounting for 36.6% of the identified impact. The system's operation also had a notable impact due to the use of diesel-based electricity (23.3%). The carbon footprint of the system was estimated at 2,380 tCO<sub>2</sub>eq over 20

The WWTP's performance was evaluated based on parameters such as Biochemical Oxygen Demand (BOD<sub>5</sub>), Chemical Oxygen Demand (COD), total phosphorus, pH, turbidity, electrical conductivity, ammoniacal nitrogen, total dissolved solids (TDS), total nitrogen (TN), total organic carbon (TOC), and inorganic carbon (IC). The integrated system, including Subsurface Horizontal Flow Constructed Wetlands, demonstrated pollutant removal efficiency, with average reductions of 98% for COD, 59% for BOD<sub>5</sub>, 87.5% for TN, 44% for total phosphorus, 83.8% for TOC, 69.9% for IC, 95% for turbidity, and 78% for TDS.

The results confirmed the effectiveness of the integrated system as a promising alternative for treating veterinary hospital effluents. This study assessed both the inflow and outflow of the integrated system, considering all implemented treatment stages. The

research highlights the relevance of multi-treatment systems, such as Constructed Wetlands, to improve the quality of effluents treated in veterinary hospitals.

**Keywords:** Veterinary Hospital; Wastewater treatment; Integrated Treatment System; Constructed Wetlands; Life Cycle Analysis.

## LISTA DE FIGURAS GERAL

**Figura 1:** Sistema de tratamento de efluentes do Hospital Veterinário Universitário 1- Tanque equalizador ;2- Sistema UASB;3-Sistema Anóxico,4-Decantador Aeróbico; 5- Adensador de lodo;6-Wetland ;7-Clorador e Calha;8-Amostragem de oxigênio.....14

**Figura 2:** Unidade da ETE do Hospital Veterinário Universitário.....16

### ARTIGO 1. ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DE HOSPITAL VETERINÁRIO UNIVERSITÁRIO NO SUL DO BRASIL: CENÁRIOS DE ANÁLISE DE CICLO DE VIDA DAS ETAPAS DE CONSTRUÇÃO E PARTIDA DE OPERAÇÃO

**Figura 1.** WWTP com ET + UASB + AR + AeR + STh + SSHFCW + Chl. Sistema do HVU estudado no sul do Brasil. Scope limits for ICV e LCA.....25

**Figura 2.** Análise de Rede da unidade de tratamento de efluentes da UVH.....31

**Figure 3.** Caracterização quanto ao material de construção e operação da WWTP do UVH estudada na região sul do Brasil.....33

**Figure 4.** Normalização quanto ao material de construção e operação da WWTP do UVH estudada na região sul do Brasil.....34

**Figure 5.** Pontuação Única quanto ao material de construção e operação da WWTP do UVH estudada na região sul do Brasil.....36

**Figure 6.** Pegada de Carbono (tCO<sub>2</sub>eq) quanto ao material de construção e operação da WWTP do UVH estudada na região sul do Brasil.....37

### ARTIGO 2. TREATMENT OF UNIVERSITY HOSPITAL VETERINARY WASTEWATERS BY INTEGRATED SYSTEM

**Figure 1** – Schematic Representation of the Integrated Wastewater Treatment Plant (WWTP) of the investigated University Veterinary Hospital (UHV). Abbreviations: ET: Equalizer Tank; UASB: Upflow Anaerobic Sludge Blank; AF: Anaerobic Filter; AR:

Aerobic Reactor STT: Sludge Thickener Tank; SSHFCW: Sub Superficial Horizontal  
Flow Constructed Wetland; PG: PG: Parshall gutter  
.....55

**Figure 2** – Results of the genotoxicity assays using the A. cepa test system.....64

## LISTA DE TABELAS

### **ARTIGO 1. ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DE HOSPITAL VETERINÁRIO UNIVERSITÁRIO NO SUL DO BRASIL: CENÁRIOS DE ANÁLISE DE CICLO DE VIDA DAS ETAPAS DE CONSTRUÇÃO E PARTIDA DE OPERAÇÃO**

**Table 1.** ICV da unidade WWTP do HUV nos itens materiais de construção e operação para entradas dos itens de energia e cloração. Based on data from Ecoinvent version 3.1.....26

**Table 2.** Desempenho em cada etapa da unidade WWTP no Cenário para ICV considerando os fatores de carga em 20 anos de 24000 m<sup>3</sup> de efluentes como vazão de referência.....28

**Table 3.** Eficiências de remoção de carga poluente do sistema integrado de tratamento em termos de valores de GEE e PO43-P-lim em 20 anos, considerando 24.000 m<sup>3</sup> de efluentes como vazão de referência.....39

### **ARTIGO 2. TREATMENT OF UNIVERSITY HOSPITAL VETERINARY WASTEWATERS BY INTEGRATED SYSTEM**

**Table 1** – Analytical methods used for the characterization of the raw and treated wastewaters.....56

**Table 2** -Mean concentrations ( $\pm$  SD) of raw and treated wastewater pollutants in relation to wastewater standard emissions.....60

## LISTA DE ABREVIATURAS

CP	Cleaner Production
IC	Carbono Inorgânico
NT	Nitrogênio Total
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
HV	Hospital Veterinário
WC	Wetlands Construídos
FS	Fosforo Solúvel

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
2 OBJETIVOS.....	12
2.1 Objetivo Geral.....	12
2.2 Objetivos específicos.....	12
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	13
3.1 Macro Poluentes.....	13
3.2 Micro Poluentes Hospitalares.....	14
3.3 Sistemas de tratamento de efluentes em hospitais – ênfase em clínicas e hospitais veterinários.....	15
3.4 Controle analítico de micro poluentes com análise orgânica e genotoxicidade em hospitais – ênfase em clínicas e hospitais veterinários.....	17
4 METODOLOGIA.....	19
4.1 Controle Analítico da Operação da ETE do Hospital Veterinário pela empresa responsável.....	20
4.2 Etapas do processo de tratamento na ETE.....	22
4.3 Ensaio de genotoxicidade com <i>Allium cepa</i> .....	23
4.3.1 Teste com sementes de <i>Allium cepa</i> .....	23
4.3.2 Análise citológica.....	23
4.3.3 Análise estatística.....	24
5. RESULTADOS.....	25
5.1 ARTIGO 1.....	25
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DE HOSPITAL VETERINÁRIO UNIVERSITÁRIO NO SUL DO BRASIL: CENÁRIOS DE ANÁLISE DE CICLO DE VIDA DAS ETAPAS DE CONSTRUÇÃO E PARTIDA DE OPERAÇÃO.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
5.2 ARTIGO 2.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Treatment of University Hospital Veterinary Wastewaters by Integrated System.....	27
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	28
7. TRABALHOS FUTUROS.....	29
8. ATIVIDADES REALIZADAS DURANTE O MESTRADO.....	30
REFERÊNCIAS.....	31

## 1 INTRODUÇÃO

A água potável no mundo está se tornando uma fonte de grande riqueza devido a sua escassez e a sua qualidade. Com o passar dos anos algumas medidas terão que ser tomadas para conter o consumo desenfreado, sendo que alguns países já demonstram falta de água potável devido ao alto consumo e condições climáticas que desfavorecem a queda de chuvas causando um período maior de seca (Semasinghe; Jatrana; King, 2023).

Neste contexto podemos observar, nos dias atuais, que o grande crescimento populacional ocasiona um maior consumo de água potável e maior desperdício de uma fonte não renovável. Segundo estudo da UNICEF, ainda em 2025, alguns lugares do mundo sofrerão com graves crises hídricas (UNICEF, 2023). Assim, medidas estão sendo tomadas para o melhorar o tratamento do efluente que possa diminuir o desperdício, assim facilitando o tratamento prévio e melhorado a qualidade do efluente . Um exemplo disso são os efluentes que passam por um pré-tratamento antes de chegarem às redes de saneamento. Dependendo de como são tratados em seguida, esses efluentes podem ser processados de forma mais eficaz, reduzindo assim o risco de comprometer a qualidade da água para consumo (Falconer *et al.*, 2006).A água potável tem seu papel fundamental na vida humana. Deste modo é compreensível que ela deva ser devidamente preservada e quanto menor o desperdício menor a escassez desse valioso recurso natural. Fundamentado no desenvolvimento econômico de grandes cidades observa-se um aumento populacional desenfreado com conseqüente aumento de consumo hídrico e geração de efluentes (Mao *et al.*, 2018). Aliado a isso, têm-se, considerando o cenário nacional, índices de tratamento de esgoto muito baixos. Segundo dados do Sistema Nacional de Informações de Saneamento, pouco mais de 50% dos efluentes gerados pela população brasileira são tratados (SNIS, 2022).

Assim, visando diminuir o desperdício de água potável e gerenciar os efluentes produzidos, foram surgindo inúmeras formas de tratamento alternativo que possibilitem uma melhora no tratamento o tornado mais fácil de ser tratado. (Colares *et al.*, 2020).

As características do efluente hospitalar abrangem uma variedade de fontes, incluindo efluentes sanitários, salas de operações, lavanderias e produtos farmacêuticos. Entre esses elementos, é importante notar que o tratamento prévio convencional muitas vezes não é

totalmente eficaz na remoção da grande maioria dos macro e micropoluentes presentes no efluente (Kaur *et al.*, 2020).

As grandes cidades têm como total desafio o efluente gerado sendo ele doméstico ou hospitalar, assim demonstram uma variedade de características dentre estes podemos o alto números de uso de produtos de uso hospitalar que são diretamente direcionados para as redes de esgoto sem nenhum tipo de tratamento de prévio (Marchand *et al.*, 2024).

Os *Wetlands* Construídos (WC) são sistemas de tratamento desempenham um papel crucial na remoção de nitrogênio e carga orgânica, . Além de sua eficácia na remoção alguns compostos, os *Wetlands* também têm demonstrado capacidade para remover metais. . Dentre estes podemos abordar que as soluções de tratamento baseados na natureza demonstram uma alternativa que possa melhorar a qualidade do efluentes hospitalares e urbanos, devido alterações nos efluentes hospitalares que liberam a bactérias patogênicas que tornaram-se resistentes a alguns tipos de antibióticos dentre eles podemos citar a tetraciclinas e sulfonamidas (Abdel-Mohsein *et al.*, 2020).

A falta de tratamento prévio desses efluentes pode resultar em várias doenças, algumas crônicas ou de longo prazo, e pode contaminar algas e peixes, representando riscos para a saúde humana e para a biodiversidade que depende desses ambientes (Sibanda; Selvarajan, 2015).

Nesse contexto, os *Wetlands* Construídos (WC) desempenham um papel importante na remoção dessas bactérias, uma vez que são capazes de reduzir o número de patógenos por meio de mecanismos como o aumento do tempo de retenção hidráulica e a promoção de uma maior seletividade das bactérias benéficas em relação às patogênicas. Essas características contribuem para melhorar a qualidade da água e reduzir os riscos à saúde pública (Dires *et al.*, 2018).

A ausência de tratamento prévio do efluente pode resultar em uma série de doenças, sejam crônicas ou de longo prazo, e também pode levar à contaminação de algas e peixes, representando um risco à saúde humana e à biodiversidade que depende desses ambientes para alimentação ou habitat (Sibanda; Selvarajan, 2015).

Uma alternativa crescentemente utilizada nos últimos anos para o tratamento de efluentes são os *wetlands* construídos (WC). Esses sistemas de engenharia são considerados uma opção viável de baixo custo de instalação e manutenção e podem ser empregados como etapa de pré-tratamento em diversas configurações (Oliveira *et al.*, 2021).

O interesse crescente pelos WC deve-se aos vários benefícios dessa ecotecnologia, como eficiência na remoção de carga orgânica e nutrientes como nitrogênio e fósforo, boa redução da contaminação microbiológica, aumento da concentração de oxigênio dissolvido e remoção de micropoluentes (Saeed *et al.*, 2020).

No entanto, dependendo da configuração, os WC de fluxo horizontal precisam ser integrados a outros sistemas de tratamento, como fossas sépticas, reatores UASB, reatores anóxicos, entre outros (Mr; MI; Joseph, 2021).

Os sistemas de tratamento *wetlands* de fluxo horizontal compreendem um sistema de alta qualidade, no qual diferentes espécies de macrófitas podem ser utilizadas, proporcionando condições favoráveis de nutrientes e temperatura ambiental para o crescimento radicular. Esses meios filtrantes de fluxo horizontal estão associados às raízes das plantas, oferecendo alta eficiência de filtração (Brunhoferova *et al.*, 2021).

Durante o processo de tratamento em *wetlands* construídos, diferentes mecanismos desempenham papéis essenciais na remoção de contaminantes e na transformação de substâncias indesejadas. A fotodegradação é crucial, pois utiliza a luz solar ou radiação ultravioleta para quebrar compostos orgânicos em contaminantes menores. Em paralelo, a fitodegradação ocorre por meio da interação entre raízes de plantas e microrganismos, promovendo a degradação de poluentes. Por fim, a biodegradação contribui para a desinfecção do sistema ao transformar substâncias como o nitrogênio amoniacal em nitritos e liberar CO<sub>2</sub> (Venditti, *et al.* 2022).

Nesse sentido a planta conhecida como Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) vem sendo muito utilizada em sistemas de tratamento de WC, especialmente em sistemas horizontais de fluxo subsuperficial (Dh *et al.*, 2019). Essa planta possui propriedades que a tornam eficaz no tratamento de efluentes sejam urbanos, industriais e hospitalares, proporcionando benefícios específicos para a remoção de poluentes, devido ao seu enraizamento profundo (Angassa *et al.*, 2019).

Além disso, os efluentes tratados por WCs como uma alternativa para um tratamento prévio e tratamento alternativo que provem de sanitários e outras finalidades como uma redução de impactos ambientais que possam mitigar e reduzir os usos de água tratada para estes fins, assim diminuindo os custos e o desperdício de água potável (Wu *et al.*, 2017).

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Avaliar os principais impactos ambientais associados às etapas de construção e operação de uma estação de tratamento de efluentes instalada em um hospital veterinário universitário assim como a sua eficiência quanto a remoção de poluentes e redução da toxicidade

### **2.2 Objetivos Específicos**

-Realizar uma revisão da literatura com aspectos de gestão e gerenciamento das ETEs de hospital veterinário universitário (HVU);

- Identificar as etapas mais impactantes da construção da estação de tratamentos assim como da sua operação através de estudos de análise de ciclo de vida:

- Avaliar a eficiência da ETE através da realização de análises de parâmetros gerais como pH, Turbidez, Nitrogênio Amoniacal, Fósforo solúvel, Sólidos Totais Dissolvido, Oxigênio Dissolvido, Condutividade, Demanda Química de Oxigênio, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Carbono Orgânico Total, Carbono Inorgânico, Nitrogênio Total e Toxicidade.

.

### **3 Fundamentação Teórica**

Ao longo dos últimos anos, diversos estudos têm evidenciado, em diferentes matrizes aquáticas, uma grande quantidade de fármacos que são utilizados tanto em humanos quanto em animais. Entre estes, uma das classes mais frequentemente reportadas nestas pesquisas, são os antibióticos, que são lançados em rios e sistemas de esgoto sem tratamento (Vazquez-Roig *et al.*, 2011).

Considerando-se o fato de que o consumo destes fármacos vem aumentando consideravelmente, as concentrações destes compostos no meio ambiente também tendem a crescer. Infelizmente, os sistemas de tratamento de águas residuárias existentes muitas vezes não são projetados para remover de forma eficaz esses compostos. Isso ocorre porque muitos fármacos e pesticidas são projetados para serem biologicamente ativos em concentrações muito baixas e, portanto, podem persistir no meio ambiente após o tratamento convencional de águas residuais (Chonova *et al.*, 2019).

#### **3.1 Macro Poluentes**

Os macros poluentes são considerados nocivos à saúde humana. Devido ao impacto que podem causar, este tipo de contaminação pode afetar também a diversidade aquática se for depositado em lagos ou rios, sendo que isso vai depender muito da forma de tratamento empregada (Zolfaghari; Drogui; Blais, 2018).

Os contaminantes hospitalares são liberados de forma expressiva no meio ambiente e em uma variedade que pode afetar e desequilibrar o ecossistema em geral. Dessa forma, não sendo tratados de forma adequada podem originar danos severos que, devidos às suas altas concentrações podem afetar de forma irreversível o meio ambiente (Hejna *et al.*, 2022).

Especificamente em relação às instituições hospitalares, os macros poluentes são originados a partir águas de lavagem, sanitários e salas de cirurgia que comumente possuem uma grande quantidade de sangue e excreções contendo fezes e urina contaminadas com antibióticos e analgésicos usados para os tratamentos dos pacientes. Em decorrência disto, há

uma grande preocupação com relação ao tratamento destes efluentes visto que na maioria das vezes o mesmo é inadequado ou inexistente (Huang *et al.*, 2022).

Dentre estes contaminantes hospitalares podemos referenciar alguns como exemplo o nitrogênio amoniacal, nitrogênio total, fosforo, matéria orgânica, coliformes termotolerantes (Saeed *et al.*, 2023).

### **3.2 Micro Poluentes Hospitalares**

Em meados dos anos 90 começaram a ser realizadas as primeiras investigações sobre aparecimento de traços de fármacos em águas residuárias devido ao fato de alguns medicamentos serem lipofílicos e persistirem por alguns anos ou décadas no organismo de animais, persistindo, mesmo em baixas concentrações (ng-µg/l), nas cadeias alimentares durante anos (Vymazal *et al.*, 2017).

Os micro poluentes representam um grande desafio para os setores geradores como, por exemplo dos hospitais E estes contaminantes são encontrados em pequenas concentrações diluídas e, dessa forma, constituem um problema para a descontaminação de rios e lagoas (Escolr-Casas *et al.*, 2015).

Uma vez não tratados de forma adequada, estes micropoluentes podem ter um efeito acumulativos para animais e seres humanos, ocasionando uma variedade de riscos a estes organismos. Dentre os fármacos mais consumidos estão os antibióticos que são dificilmente degradados com os métodos convencionais e que podem persistem por muitos anos no ecossistema (Prasertkulsak *et al.*, 2016).

Dentre estes micro poluentes podemos citar alguns como substancias antropogênicas, surfactantes, esteroides, produtos de higiene pessoal e fármacos estes poluentes são comumente encontradas em águas residuárias em diferentes concentrações como ng/L a mg/L (Saeed *et al.*, 2018).

Cada fármaco que é descartado possui uma estrutura diferentes e que, por sua vez pode se comportar de uma maneira diferente no meio ambiente. Além disso, os medicamentos consumidos por seres humanos ou animais podem ser excretados pela urina ou pelas fezes de forma inalterada, ou ainda serem degradados pelas vias metabólicas dando origem a

subprodutos que podem levar tanto a poluição de águas superficiais como de águas subterrâneas (Al-Qarni *et al.*, 2016).

Entre as maiores fontes geradoras de resíduos de antibióticos estão os hospitais, as unidades básicas de saúde e os hospitais veterinários, que por não terem um descarte com pré tratamento ocasionam um aumento relativo na concentração destes compostos nos mananciais e rios que são captados para tratamento e distribuição para a população (Mayoudom *et al.*, 2018).

Desde então os micro poluentes têm sido objeto de investigação a muitos anos devido aos seus efeitos adversos na vida aquática. Recentemente, tem-se observado que alguns peixes estão sendo expostos a contaminação por medicamentos provenientes tanto de setores domésticos quanto hospitalares, resultando em uma exposição prolongada. Essa exposição tem levado a mutações genéticas nos peixes, manifestando-se na feminização de peixes masculinos. Esse fenômeno evidencia a complexa interação entre os poluentes e os organismos aquáticos, destacando a importância de entendermos e mitigarmos os impactos dos micro poluentes no meio ambiente aquático (Sr-rengrrrd *et al.*, 2019).

Consequentemente, os hospitais são reconhecidos como fontes significativas de micropoluentes em águas residuais, incluindo uma variedade de produtos farmacêuticos, compostos químicos, metais pesados, desinfetantes e esterilizantes, detergentes especializados, marcadores radioativos e meios de contraste com uso de iodo (Gutierrez *et al.*, 2024).

### **3.3 Sistemas de tratamento de efluentes em hospitais – ênfase em hospitais veterinários**

A preocupação com a frequente detecção de resíduos de antibióticos e seus subprodutos no meio ambiente, especialmente em ecossistemas aquáticos, acaba por atingir níveis globais. Os antibióticos são medicamentos essenciais aos hospitais, sendo que a maioria desses compostos podem ser liberados no esgoto hospitalar devido à eliminação dos antibióticos presentes nas fezes e urinas, assim como ao descarte não adequado dos medicamentos não utilizados (Lien *et al.*, 2016).

A quantidade de águas residuárias produzidas nos hospitais é significativa e representa uma séria ameaça ao meio ambiente, assim como à saúde humana. Os efluentes provenientes

de unidades hospitalares, tais como laboratórios de patologia, enfermarias infecciosas e áreas de alojamento para funcionários, são altamente complexos, pois contêm uma variedade de elementos como micróbios e patógenos, resíduos de medicamentos, produtos químicos, tecidos biológicos, culturas e toxinas químicas. A falta de tratamento adequado desses efluentes hospitalares podem acarretar diversas implicações para a saúde, incluindo resistência microbiana, danos ao DNA, efeitos tóxicos, eco toxicidade, bioacumulação e outras preocupações ambientais (Khan *et al.*, 2020).

Atualmente, estão em andamento várias medidas para melhorar o tratamento e o descarte adequado de efluentes hospitalares, devido à presença potencial de uma variedade de medicamentos. Entre esses medicamentos, estão analgésicos como Buscofin composto injetável, cloridrato de remifetamina, cloridrato de tramadol, dipirona, fentanila, metadona e morfina, além de antibióticos como ampicilina sódica, cefalotina, ceftriaxona, enrofloxacina, metronidazol, penicilina, shotapen, sulfametoxazol, trimetropina, cefalexina, doxiciclina e metronidazol. Essas substâncias, devido à sua estabilidade estrutural, muitas vezes não sofrem degradação durante o descarte, contribuindo para o aumento da resistência bacteriana e de patógenos (Akhmad *et al.*, 2022).

Dentre as diversas configurações, os sistemas de WC de fluxo horizontal superficial têm apresentado resultados promissores na remoção de fármacos por meio de processos físicos, como adsorção e sedimentação, além de reações químicas, como oxidação e redução (Jain *et al.*, 2023).

Conforme mencionado por Silveira 2022, o desempenho dependerá da configuração do sistema utilizado no tratamento do efluente e da interação da comunidade microbiana. Essa interação é crucial para o processo de decomposição da matéria orgânica, que durante seu ciclo libera CO<sub>2</sub>, converte amônia em nitrato e auxilia na redução de patógenos. Estudos tem reportado que outras configurações de WC não tem apresentando o mesmo grau de eficiência na remoção de fármacos gerados por um hospital veterinário, por que dentre eles são encontrados medicamentos como quimioterápicos, antibióticos e analgésico e que para que ocorra a degradação completa dos mesmos é necessário um maior tempo de retenção do efluente gerados (Auvinen *et al.*, 2017).

Estudos têm relatado que outras configurações de *Wetlands* Construídos (WC) não apresentam o mesmo grau de eficiência na remoção de fármacos gerados por hospitais veterinários. Isso ocorre porque entre os medicamentos descartados estão quimioterápicos, antibióticos e analgésicos, cuja degradação completa requer um maior tempo de retenção dos efluentes no sistema (Auvinen et al., 2017). Essa limitação destaca a importância de considerar diferentes configurações e tempos de retenção ao projetar sistemas para tratar esses compostos específicos.

Antibióticos, originalmente desenvolvidos para combater infecções bacterianas, são amplamente utilizados na medicina humana e veterinária. Um exemplo comum são as sulfamidas, frequentemente empregadas na pecuária para proteger o gado contra doenças. No entanto, o uso de antibióticos na pecuária pode causar impactos ambientais significativos. Esses medicamentos podem ser excretados pelos animais em sua forma original ou parcialmente metabolizados, tornando-se contaminantes ambientais persistentes (Huang et al., 2021).

Nesse contexto, os *Wetlands* Construídos têm demonstrado grande capacidade para remover fármacos, especialmente antibióticos, devido à ação combinada de raízes de plantas e microrganismos presentes no meio filtrante. Durante o processo, esses microrganismos degradam a maior parte dos compostos dos antibióticos. Entretanto, a eficiência da degradação pode variar dependendo das características químicas do fármaco e da configuração do sistema. Mesmo que a degradação não seja completa, a redução da concentração desses compostos pode torná-los mais suscetíveis à decomposição em tratamentos subsequentes (Chen et al., 2015).

### **3.4 Controle analítico de micro poluentes com análise orgânica e genotoxicidade em hospitais – ênfase em clínicas e hospitais veterinários**

Os compostos farmacêuticos ativos são micropoluentes orgânicos que representam um grande desafio devido à sua baixa biodegradabilidade nos sistemas convencionais de tratamento de águas residuais, como aqueles baseados em lodo ativado. Esses compostos são encontrados em diferentes fontes de água, incluindo águas superficiais, subterrâneas e até mesmo potáveis, apresentando riscos significativos ao meio ambiente e à saúde humana (Alvarino et al., 2020).

Embora existam estudos sobre o tratamento de águas residuais hospitalares, dados específicos sobre compostos farmacêuticos ativos em águas residuais de hospitais veterinários ainda são escassos (Badia-Fabregat et al., 2016). Esses compostos, devido à sua estabilidade química, são degradados lentamente pelos microrganismos, desafiando os sistemas tradicionais de tratamento. No entanto, esses microrganismos desempenham um papel fundamental na remoção de nutrientes como fósforo e nitrogênio, que são adsorvidos pelas raízes das plantas durante o processo de tratamento.

A toxicidade dos efluentes hospitalares não é completamente avaliada apenas por parâmetros físico-químicos definidos pela legislação. Ensaios de toxicidade com organismos como plantas, algas, cianobactérias, peixes e minhocas são essenciais para compreender os impactos desses compostos (Cordeiro et al., 2021). Nesse sentido, a avaliação da genotoxicidade é amplamente empregada para verificar a eficácia na redução da toxicidade nos sistemas de tratamento de águas residuais. A presença de genotoxicidade geralmente está associada a danos ao DNA e alterações genéticas causadas por resíduos de contaminantes, como medicamentos e produtos de higiene pessoal (Arsand et al., 2022).

Hospitais e indústrias são contribuintes significativos para a genotoxicidade ambiental, devido ao descarte inadequado de resíduos químicos e à liberação de substâncias perigosas, como metais pesados. Em ambientes próximos a essas atividades, observa-se um potencial de contaminação capaz de causar mutações genéticas. Por exemplo, hospitais frequentemente descartam grandes volumes de medicamentos em redes pluviais, agravando os riscos ambientais (Mateos et al., 2008).

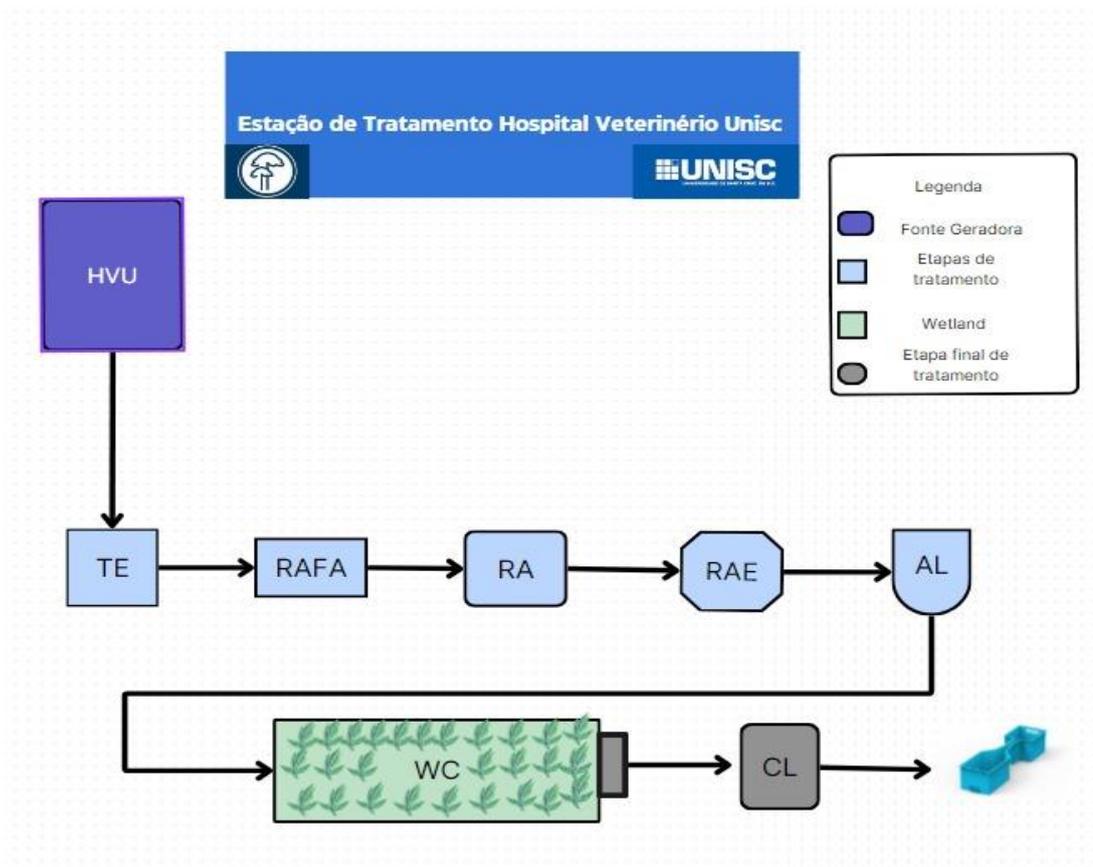
Embora efluentes hospitalares compartilhem características com efluentes urbanos em termos de contaminantes químicos, físicos e biológicos, apresentam uma gama mais ampla de poluentes, incluindo os chamados "contaminantes emergentes." Esses incluem compostos farmacêuticos, resíduos químicos e cepas bacterianas resistentes a antibióticos, conferindo alto potencial de toxicidade (Lutterbeck et al., 2022).

Apesar de os *Wetlands* Construídos serem considerados uma solução promissora para reduzir esses impactos, muitos medicamentos permanecem nos efluentes mesmo após o tratamento. Isso ressalta a necessidade de explorar abordagens mais avançadas e específicas para lidar com

a genotoxicidade associada aos efluentes hospitalares, reforçando a importância de inovação tecnológica no setor (Lutterbeck et al., 2022).

#### 4 Metodologia

As coletas foram realizadas durante o período da manhã. Durante este período, as bombas automáticas que normalmente controlam o funcionamento da estação de tratamento de efluentes foram desligadas, e o sistema foi alternado para acionamento manual. A coleta de amostras ocorreu quinzenalmente. Na primeira etapa do processo de amostragem, as amostras foram coletadas no ponto 1 (tanque equalizador) utilizando um copo de Becker de 1000 ml.



**Figura 1:** Hospital Veterinário-Tanque Equalizador-Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente-Reator Anóxico- Decantador Aeróbico-Adensador de Lodo-Wetland-Clorador -Calhe Parshall



**Figura 2:**Sistema de tratamento de efluentes do Hospital Veterinário Universitário 1-Tanque equalizador ;2- Reator anaeróbico de fluxo ascendente ;3-Sistema Anóxico,4-Decantador Aeróbico; 5-Adensador de lodo;6-*Wetland* ;7-Clorador e Calha;8-Amostragem de oxigênio

Logo após a coleta da primeira amostra, a taxa de oxigênio dissolvido (OD) foi imediatamente medida nela. As amostras subsequentes, nos outros seis pontos (conforme Figura 1), foram coletadas individualmente, e a concentração de OD também foi medida em cada uma delas. Após a coleta, as amostras foram cuidadosamente acondicionadas e transportadas em uma caixa térmica com gelo, conforme a NBR 9898 (APHA, 2017), para o laboratório de Engenharia Ambiental da Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC), onde foram realizadas as análises necessárias.

Um sistema horizontal misto é um tipo de sistema de tratamento de águas residuais que combina características de sistemas horizontais e verticais. Em sistemas horizontais, a água ou o efluente flui de forma lateral, enquanto em sistemas verticais, a água flui para baixo, geralmente através de um meio filtrante. O sistema horizontal misto combina essas duas abordagens, permitindo que o efluente seja tratado de forma eficiente, aproveitando as vantagens de ambos os fluxos. Essa configuração pode ser utilizada para melhorar o desempenho do tratamento, especialmente em sistemas de drenagem ou filtração de águas residuais.

#### **4.1 Controle Analítico da Operação da ETE do Hospital Veterinário pela empresa responsável**

O objetivo deste estudo foi avaliar as etapas e a eficiência da estação de tratamento de esgoto (ETE) do Hospital Veterinário localizado na cidade de Santa Cruz do Sul – RS. Para tanto, foram realizadas análises preliminares de campo, com o objetivo de entender o funcionamento e a instalação do projeto da ETE.

A partir dos projetos de engenharia da estação de tratamento, foi possível detalhar as etapas do processo de tratamento de efluentes, com ênfase nas diferentes fases de cada ponto do sistema. As etapas e o fluxo do processo foram analisados com base no planejamento inicial, que descreve os pontos críticos e as especificações do sistema de tratamento.

O monitoramento da ETE foi realizado a cada 15 dias, com a coleta de amostras de efluentes. Essas amostras foram analisadas pela Central Analítica da Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC), utilizando os métodos estabelecidos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2017).

As amostras do efluente foram coletadas seguindo as normas de higiene e segurança estabelecidas pelo CONAMA, e em seguida, transferidas para os laboratórios da UNISC. O objetivo da análise foi caracterizar o efluente, com foco na avaliação de parâmetros como: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO5), Demanda Química de Oxigênio (DQO), pH, fósforo total e nitrogênio amoniacal dissolvido.

Essa metodologia foi aplicada com o intuito de avaliar a eficiência do sistema de tratamento como um todo, garantindo que os efluentes atendam aos padrões exigidos para lançamento no meio ambiente, conforme as normas e diretrizes ambientais.

#### **4.2 Etapas do processo de tratamento na ETE**

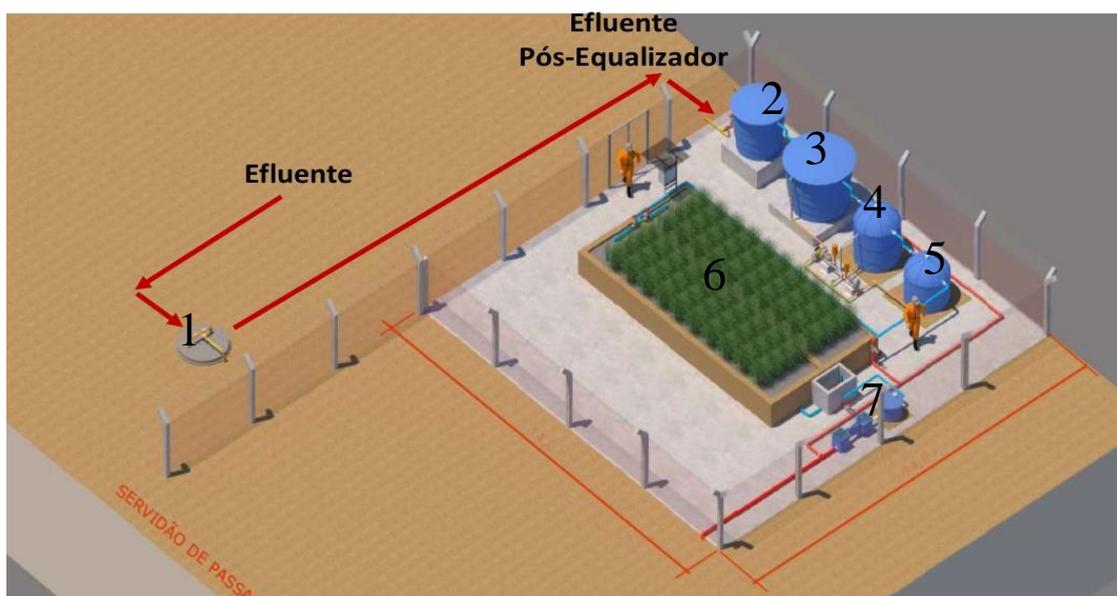
A Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) foi dimensionada para atender exclusivamente ao hospital veterinário, sem a conexão de outras habitações. O efluente gerado é proveniente das atividades das pessoas que trabalham e estudam no hospital, bem como dos animais tratados nas instalações. Devido à variedade de fontes, o efluente é classificado como misto.

O efluente chega à ETE por gravidade, percorrendo caixas de passagem, inspeção e peneiramento. O primeiro ponto de recebimento é a estação elevatória, localizada na parte frontal da ETE, onde a bomba elevatória é responsável por bombear o efluente até o UASB (Reator Anaeróbio de Manta de Lodo Ascendente), que realiza a fermentação do efluente. Após o digestor, o efluente passa pelo reator anóxico (filtro anóxico), onde ocorre o processo de desnitrificação.

Em seguida, o efluente é direcionado ao reator aeróbio (aerador), onde ocorre a aeração para o tratamento biológico. Após esse processo, o efluente segue para o adensador de lodo. O lodo residual gerado durante o processo de tratamento é depositado na parte inferior do reservatório, enquanto o efluente decantado é direcionado ao sistema de wetland (pântano construído) de fluxo horizontal subsuperficial, que opera em **sistema paralelo** com outros tratamentos.

Neste estudo, ambos os sistemas (o reator aeróbio e o sistema de *wetland*) foram avaliados quanto à sua eficiência na remoção de poluentes. A operação paralela dos sistemas foi analisada, comparando a eficiência de cada um no tratamento do efluente. Após a conclusão de todo o processo de tratamento, a água tratada passa pela calha Parshall, sendo finalmente depositada no corpo d'água receptor.

A disposição dos tanques e o esquema de fluxo do tratamento estão detalhados na Figura 3, que ilustra todo o percurso do efluente desde sua chegada até a liberação da água tratada.



**Figura 3:** Unidade da ETE do Hospital Veterinário Universitário.

### 4.3 Ensaios de genotoxicidade com *Allium cepa*

#### 4.3.1 Teste com sementes de *Allium cepa*

Sementes de *Allium cepa*, variedade baía periforme, livres de tratamento com fungicida foram adquiridas para o teste de germinação. Foram expostas 20 sementes por placa de Petri dispostas sobre papel filtro umedecido com 3 mL de amostra, durante 3 dias, a 25°C e ao abrigo de luz. O teste foi acompanhado de controle negativo (CN) constituído de água destilada e controle positivo (CP) constituído de uma solução de sulfato de cobre ( $1 \text{ mgL}^{-1}$ ). Todos os testes foram realizados em quintuplicata. Após a germinação, as sementes foram analisadas quanto a frequência de germinação e o comprimento da radícula. Na sequência, as radículas foram fixadas em solução Carnoy 3:1 (metanol: ácido acético) por 24 horas, 4°C e depois lavadas com água destilada 3x e preservadas em álcool 70% sob refrigeração até a análise citológica.

#### 4.3.2 Análise citológica

Radículas com cerca de 10 mm foram selecionadas e submetidas a hidrólise ácida com HCl 1N a 40°C por 30 min. Após, as radículas foram lavadas em água destilada e dispostas em

lâmina de microscópio. Com auxílio de bisturi, as radículas foram cortadas longitudinalmente e as células da região meristemática espalhadas com auxílio de agulha histológica. Em seguida, as radículas foram coradas com 2 gotas de solução deorceína acética 2% por 2 minutos e uma lamínula foi cuidadosamente colocada sobre as células evitando a formação de bolhas. A lamínula foi pressionada algumas vezes a fim de promover o espalhamento das células, sendo que o excesso de corante foi removido com papel filtro.

Para cada grupo de tratamento, foram analisadas 10 radículas sendo de 500 células por radícula com o auxílio de microscópio óptico, magnificação de 1000x. Assim, um total de 5000 células analisadas foi analisada por grupo de tratamento.

O índice mitótico (IM) foi obtido pela contagem de células em divisão considerando os estágios de prófase, metáfase, anáfase e telófase em relação as células totais. A frequência das anormalidades nucleares (AN) tais como brotos e botões nucleares, micronúcleos e células binucleadas foi obtida a partir do total das células contadas por radículas. A frequência de aberrações cromossômicas totais (ACT) foi calculada pelo número de células com aberrações cromossômicas em metáfase, anáfase e telófase dividido pelo número total de células em divisão considerando as mesmas fases (metáfase, anáfase e telófase). Também foram calculadas as frequências de aberrações cromossômicas clastogênicas (ACC) e aneugênicas (ACA) segundo os critérios de Leme e Marin-Morales (2009).

### **4.3.3 Análise estatística**

As variáveis contínuas foram expressas como média e desvio padrão e mediana e intervalo interquartil entre 25 e 75%. Os dados foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk e como não apresentaram distribuição normal optou-se por usar estatística não paramétrica. Assim, os efluentes foram comparados entre si e ao CN através do teste de Kruskal-Wallis seguido de pós-teste de Dunn para múltiplas comparações. Foi considerado o nível de significância estatística como  $p < 0,05$ . Todos os testes foram acompanhados de CP que serviu apenas para mostrar que os testes de anomalias nucleares e aberrações cromossômicas apresentaram diferenças significativas em relação ao CN quando comparados pelo teste U de Mann-Whitney. Assim, optou-se por comparar somente o CN e os tratamentos. Todas as análises estatísticas foram realizadas no programa estatístico GraphPad Prism 8.0

## **5. Resultados**

### **5.1 ARTIGO 1**

#### **Wastewater Treatment Plant of an University Veterinary Hospital in South Brazil: Life Cycle Analysis of the Construction Steps and Start-Up of the Operation**

Maurício Kersting<sup>1</sup>, Guilherme Iepsen<sup>2</sup>, Deryck Perez<sup>3</sup>, Helem Amanda Kopp<sup>4</sup>, Adriane de Assis Lawisch Rodríguez<sup>1</sup>, Rosana de Souza de Cássia Schneider<sup>1</sup>, Carlos Alexandre Lutterbeck<sup>1,2</sup>, Fábio Oliveira<sup>1</sup>, Letícia Mesacasa<sup>1</sup>, Deison Antonio Taufer Fochi<sup>1</sup>, Lúcia Helena Ribeiro Rodrigues<sup>5</sup> and Ênio Leandro Machado<sup>1</sup>

1 – Postgraduate Program in Environmental Technology – PPGTA, University of Santa Cruz do Sul, RS, Brazil.

2 – Department of Life Sciences, University of Santa Cruz do Sul, UNISC, Brazil

3 – Department of Engineering, University of Santa Cruz do Sul, UNISC, Brazil

4 – Engineering Bioprocesses and Biotechnology, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Brazil.

5 - Postgraduate Program in Water Resources and Environmental Sanitation, Federal University of Rio Grande do Sul

#### **ABSTRACT**

The present study approached the life cycle analysis (LCA) of the installation and start-up stages of the wastewater treatment plant of an University Veterinary Hospital (UVH) located in south Brazil. The integrated treatment system was installed at a medium-sized UVH, with up to 300 consultations per day for small, medium and large animals. The reference flow

considered the generation of 24,000 m<sup>3</sup> of wastewaters (20 years), especially arising from the toilets, kitchen, and with controlled disposal from laboratories and surgery rooms. The system was designed with the following treatment steps: Sieving and equalizing tank (ET) + upflow anaerobic sludge blanket (UASB) + anoxic reactor (AR) + aerobic reactor (ARe) + decanter (Sth) + constructed wetland (SSHFCW) + chlorinator (Chl). All construction materials were considered using the Ecoinvent 3.1 database, as well as the operation, with energy and chlorination agent. The use of the Simapro 8.1 software with Impact 2002+ was associated with the GHG Protocol 2023 v2023.03. According to the selected reference flow, the Wastewater Treatment Plant (WWTP) presented an efficiency for reducing more than 90% of the eutrophication potential and depletion of dissolved oxygen in wastewater, generating more than 10 tons of biogenic CH<sub>4</sub>. The construction stage brought higher impacts from the network analysis for the SSHFCW (36.6%) due to the choice of the positive quota tank and the use of the Natural stone plate. Regarding the system's operation the highest environmental burdens were associated with the high voltage energy {BR} produced from diesel oil (38.8%). The carbon footprint, for construction and operation, presented 8,4 tCO<sub>2</sub>eq (fossil) in 20 years, being responsible for the main impact on the analysis of the life cycle of the system's carbon footprint. Generating energy with the biogas produced by the system, selecting materials with a sustainable circular economy for the construction of the constructed wetland, increasing the diversity of macrophytes in the SSHFCW, as well as the frequency of pruning, are actions that should be considered in order to reduce the negative impacts associated with the treatment systems.

**Keywords:** university veterinary hospital; wastewater treatment plant, integrated system, life cycle assessment, carbon footprint.

## ARTIGO 2

### Treatment of Veterinary Hospital Wastewater Using an Integrated System

Maurício Kersting<sup>1</sup>, Carlos Alexandre Lutterbeck<sup>1,2\*</sup>, Rosana de Cassia de Souza Schneider<sup>1,3</sup>, Adriane Lawisch Rodriguez<sup>1</sup>, Alexandre Rieger<sup>1,2</sup>, Guilherme Lemões Iepsen<sup>2</sup>, João Vitor Frantz<sup>2</sup>,

1 – Postgraduate Program in Environmental Technology – PPGTA, University of Santa Cruz do Sul, RS, Brazil

2 – Department of Life Sciences, University of Santa Cruz do Sul, UNISC, Brazil

3 – Department of Sciences, Humanities and Education, University of Santa Cruz do Sul, UNISC, Brazil

Corresponding author at: carlosalexandre@unisc.br

## Abstract

Despite hospital wastewaters' special characteristics, these institutions rarely treat them adequately. This scenario is even worse if considering veterinary hospitals (VH). So, the present study aimed to investigate the treatment of wastewater generated at a VH located at Santa Cruz do Sul (state Rio Grande do Sul, south Brazil). The wastewater treatment plant (WWTP) is composed of an equalizer tank (ET), up-flow anaerobic sludge blanket (UASB), anoxic filter (AF), aerobic reactor (AR), sludge thickener tank (STT), sub superficial horizontal flow constructed wetlands (SSHFCW) and Parshall gutter (PG). The hydraulic retention time (HRT) lasts around 10 days. The UHV evaluated in this study has 2000 m<sup>2</sup> generating 5m<sup>3</sup> of wastewater daily. Antibiotics and analgesics are the most used classes of pharmaceutical compounds. Several of the analyzed parameters disagreed with national and international guidelines. In this sense, the integrated treatment system showed promising results, achieving mean removals of 98% for COD and 59% for BOD<sub>5</sub>; 87.5% for Total N and 44% for Total P; 83,8% and 69,9% of DOC and TDC; 95% and 65% of Turbidity and EC and finally 78 % of TDS. The bioassays with *Allium cepa* indicated a strong genotoxic potential of the raw wastewater which was completely removed, after the treatment. Therefore, the integrated treatment system showed promising results regarding the treatment of VH wastewaters. Future studies should also incorporate chromatographic analysis to confirm the presence and concentrations of pharmaceuticals, alongside conducting bioassays using organisms from various trophic levels

**Keywords:** university veterinary hospital; wastewater treatment; integrated treatment system; pharmaceutical compounds; toxicity analysis.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa teve como objetivo avaliar a eficiência do sistema de tratamento de efluentes de um hospital veterinário universitário, considerando a remoção de poluentes e a redução da toxicidade dos efluentes tratados. Os resultados obtidos indicam que os objetivos propostos foram alcançados, com contribuições importantes para a área de tratamento de águas residuárias em hospitais veterinários.

A Análise de Ciclo de Vida (ACV) realizada demonstrou que a configuração da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) do Hospital Veterinário Universitário (UVH) proporciona uma solução eficiente na redução da carga de oxigênio dissolvido e na minimização do processo de eutrofização. A remoção dos poluentes foi eficaz nos seguintes parâmetros: 98% de Demanda Química de Oxigênio (DQO), 59% de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO5), 87,5% de Nitrogênio Total (N Total), e 44% de Fósforo Total (P Total). Outros parâmetros, como Carbono Orgânico Dissolvido (DOC) e Carbono Total Dissolvido (TDC), apresentaram remoções de 83,8% e 69,9%, respectivamente. A Turbidez foi reduzida em 95%, enquanto a Condutividade Elétrica (CE) teve uma redução de 65%, e os Sólidos Totais Dissolvidos (TDS) mostraram uma redução de 78%. Esses resultados confirmam a eficiência do sistema de tratamento, atendendo aos padrões exigidos para a qualidade da água tratada.

Além disso, os bioensaios realizados com *Allium cepa* indicaram um alto potencial genotóxico nos efluentes brutos, enquanto que, após o tratamento, observou-se uma remoção completa da genotoxicidade, evidenciando a eficácia do sistema na redução da toxicidade.

Com base nos resultados alcançados, recomenda-se que estudos futuros incluam análises cromatográficas para quantificar a presença de fármacos no efluente tratado, além de bioensaios com organismos vivos de diferentes níveis tróficos para aprofundar a avaliação dos impactos ambientais do efluente após o tratamento.

## 7. TRABALHOS FUTUROS

Os estudos futuros podem explorar a implementação de sistemas alternativos de tratamento de efluentes que incorporem lagos no final do processo. Esses lagos podem ser projetados para promover a degradação adicional de poluentes que possam persistir no efluente tratado. Uma abordagem promissora é a utilização de algas, que têm a capacidade de absorver e metabolizar uma ampla variedade de compostos orgânicos e inorgânicos, incluindo substâncias químicas indesejadas nos efluentes.

Além disso, a biomassa produzida a partir das podas das macrófitas da espécie *Chrysopogon zizanioides*, também conhecida como Vetiver, pode ser uma fonte valiosa para futuras aplicações. Essa biomassa pode ser explorada para a produção de bioetanol, um biocombustível renovável e sustentável que pode substituir os combustíveis fósseis. A biomassa também pode ser submetida à hidrólise ácida, um processo químico que quebra os polissacarídeos presentes na biomassa em açúcares simples, os quais podem ser utilizados como bioestimulantes para a germinação de sementes em agricultura.

Essas abordagens representam oportunidades promissoras para melhorar a eficácia dos sistemas de tratamento de efluentes, ao mesmo tempo em que valorizam os subprodutos gerados no processo. A utilização de lagos com algas e a exploração da biomassa de Vetiver para produção de bioetanol e bioestimulantes oferecem perspectivas sustentáveis e ambientalmente conscientes para o tratamento de efluentes e o uso de recursos naturais.

## **8. ATIVIDADES REALIZADAS DURANTE O MESTRADO**

Durante o mestrado foram realizadas as seguintes atividades:

- 1) Apresentação do trabalho no 2º e 3º Seminário Sul em Inovações em Tecnologia Ambientais
- 2) Apresentação do trabalho no XIII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental
- 3) Submissão do artigo *ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DE HOSPITAL VETERINÁRIO UNIVERSITÁRIO NO SUL DO BRASIL: CENÁRIOS DE ANÁLISE DE CICLO DE VIDA DAS ETAPAS DE CONSTRUÇÃO E PARTIDA DE OPERAÇÃO* em parceria com os colegas.
  
- 4) Aula de produtos de limpeza voluntaria na Química.

## REFERÊNCIAS

Abdel-Mohsein, H. S. (2020). Remarkable Removal of Antibiotic-Resistant Bacteria During Dairy Wastewater Treatment Using Hybrid Full-scale Constructed Wetlands. Publicado em 22 de julho de 2020, Volume 231, Artigo Número 397.

AKEI, M.; BABILA, D. Wetland Dynamics, Trends and Environmental Implications: Comparative Study in Bamenda II and III Municipalities, North West Region, Cameroon. *CoDura* fya dergisi, n. 45, p. 1-14, 2022.

Akhmad, A. G., S. Darman, Aiyen, W. P. S. Hamsens and S. Hamsens (2022). "An opportunity for using constructed wetland technology in hospital wastewater treatment: a preliminary study." *IOP conference series. Materials Science and Engineering* 1212(1): 12001.

Al Qarni, H., P. Collier, J. O'Brien Keffe and J. Akunna (2016). "Investigating the removal of some pharmaceutical compounds in hospital wastewater treatment plants operating in Saudi Arabia." *Environmental science and pollution research international* 23(13): 13003-13014.

Almaamary, E. A. S.; Abdullah, S. R. S.; Ismail, N. B. I.; Idris, M. et al. Comparative performance of *Scirpus grossus* for phytotreating mixed dye wastewater in batch and continuous pilot subsurface constructed wetland systems. *Journal of environmental management*, 307, p. 114534-114534, 2022.

Alsubih, M., R. El Morabet, R. A. Khan, N. A. Khan, A. R. Khan, S. Khan, N. M. Mubarak, M. H. Dehghani and L. Singh (2022). "Field performance investigation for constructed wetland clubbed with tubesettler for hospital wastewater treatment." *Journal of water process engineering* 49: 103147.

Alvarino, T., E. García-Sandoy, I. Gutiérrez-Prada, J. Lema, F. Omil and S. Suárez (2020). "A new decentralized biological treatment process based on activated carbon targeting organic micropollutant removal from hospital wastewaters." *Environmental science and pollution research international* 27(2): 1214-1223.

Angassa, K.; Leta, S.; Mulat, W.; Kloos, H. et al. Effect of hydraulic loading on bioremediation of municipal wastewater using constructed wetland planted with vetiver grass, Addis Ababa, Ethiopia. *Nanotechnology for environmental engineering*, 4, n. 1, p. 1-11, 2019.

Arsand, D., M. H. Antunes, G. A. Martins, M. D. Gerber and F. R. K. Corrêa (2022). "Avaliação do potencial fitotóxico, citotóxico e genotóxico de efluente hemodialítico." *Engenharia sanitária e ambiental* 27(2): 269-277.

Auvinen, H., I. Havran, L. Hubau, L. Vanseveren, W. Gebhardt, V. Linnemann, D. Van Oirschot, G. Du Laing and D. P. L. Rousseau (2017). "Removal of pharmaceuticals by a

pilot aerated sub-surface flow constructed wetland treating municipal and hospital wastewater." *Ecological engineering* 100: 157-164.

Badia-Fabregat, M., D. Lucas, M. A. Pereira, M. Alves, T. Pennanen, H. Fritze, S. Rodríguez-Mozaz, D. Barceló, T. Vicent and G. Caminal (2016). "Continuous fungal treatment of non-sterile veterinary hospital effluent: pharmaceuticals removal and microbial community assessment." *Applied microbiology and biotechnology* 100(5): 2401-2415.

Brunhoferova, H.; Venditti, S.; Schlien, M.; Hansen, J. Removal of 27 micropollutants by selected wetland macrophytes in hydroponic conditions. *Chemosphere (Oxford)*, 281, p. 130980-130980, 2021.

Chen, J., Y.-S. Liu, H.-C. Su, G.-G. Ying, F. Liu, S.-S. Liu, L.-Y. He, Z.-F. Chen, Y.-Q. Yang and F.-R. Chen (2015). "Removal of antibiotics and antibiotic resistance genes in rural wastewater by an integrated constructed wetland." *Environmental science and pollution research international* 22(3): 1794-1803.

Chonova, T., R. Kurmayer, F. d. r. Rimet, J. r. Labanowski, V. Vasselon, F. o. Keck, P. Illmer and A. Bouchez (2019). "Benthic Diatom Communities in an Alpine River Impacted by Waste Water Treatment Effluents as Revealed Using DNA Metabarcoding." *Frontiers in microbiology* 10: 653-653.

COLARES, G. S.; DELL'OSBEL, N.; WIESEL, P. G.; OLIVEIRA, G. A. et al. Floating treatment wetlands: A review and bibliometric analysis. *Science of The Total Environment*, 714, p. 136776, 2020/04/20/ 2020.

Cordeiro, S. G., R. Ziem, Y. A. Schweizer, B. Costa, D. Kuhn, P. Haas, A. C. Weber, D. Heidrich, E. M. Ethur, C. Steffens and L. I. Hoehne (2021). "Degradation of micropollutant cephalexin by ultraviolet (UV) and assessment of residual antimicrobial activity of transformation products." *Water science and technology* 84(2): 374-383.

Dires, S., Birhanu, T., Ambelu, A., & Sahilu, G. (2018). Remoção de bactérias resistentes a antibióticos de áreas úmidas construídas com fluxo subterrâneo de águas residuais hospitalares. *Revista de Engenharia Química Ambiental*, 6(4), 4265-4272.

Escorihuela Casas, M., R. K. Chhetri, G. Ooi, K. M. S. Hansen, K. Litty, M. Christensson, C. Kragelund, H. R. Andersen and K. Bester (2015). "Biodegradation of pharmaceuticals in hospital wastewater by a hybrid biofilm and activated sludge system (Hybas)." *The Science of the total environment* 530-531: 383-392.

Falconer, I. R.; Chapman, H. F.; Moore, M. R.; Ranmuthugala, G. Endocrine-disrupting compounds: A review of their challenge to sustainable and safe water supply and water reuse. *Environmental toxicology*, 21, n. 2, p. 181-191, 2006.

Gutierrez, M., D. MutavdEsiDž, PavloviDž, D. StipaniDžKev, S. Repec, F. Avolio, M. Zanella and P. Verlicchi (2024). "A thorough analysis of the occurrence, removal and environmental risks of organic micropollutants in a full-scale hybrid membrane

bioreactor fed by hospital wastewater." *The Science of the total environment* 914: 169848-169848.

Hejna, M., D. Kapuścińska and A. Aksmann (2022). "Pharmaceuticals in the Aquatic Environment: A Review on Eco-Toxicology and the Remediation Potential of Algae." *International journal of environmental research and public health* 19(13): 7717.

Huang, A., M. Yan, J. Lin, L. Xu, H. Gong and H. Gong (2021). "A Review of Processes for Removing Antibiotics from Breeding Wastewater." *International journal of environmental research and public health* 18(9): 4909.

Huang, L., Z. Li, G. Wang, J. Han, Y. Hou and N. Zhang (2022). "Composite hydrolytic acidification - aerobic MBBR process for treating traditional Chinese medicine wastewater." *Biodegradation (Dordrecht)* 33(5): 509-528.

Jain, M., P. Sai Kiran, P. S. Ghosal and A. K. Gupta (2023). "Development of microbial fuel cell integrated constructed wetland (CMFC) for removal of paracetamol and diclofenac in hospital wastewater." *Journal of environmental management* 344: 118686-118686.

Khan, A. H., N. A. Khan, S. Ahmed, A. Dhingra, C. P. Singh, S. U. Khan, A. A. Mohammadi, F. Changani, M. Yousefi, S. Alam, S. Vambol, V. Vambol, A. Khursheed and I. Ali (2020). "Application of advanced oxidation processes followed by different treatment technologies for hospital wastewater treatment." *Journal of cleaner production* 269: 122411.

Lien, L. T. Q., N. Q. Hoa, N. T. K. Chuc, N. T. M. Thoa, H. D. Phuc, V. Diwan, N. T. Dat, A. J. Tamhankar and C. S. Lundborg (2016). "Antibiotics in Wastewater of a Rural and an Urban Hospital before and after Wastewater Treatment, and the Relationship with Antibiotic Use-A One Year Study from Vietnam." *International journal of environmental research and public health* 13(6): 588.

Lutterbeck, C. A., G. S. Colares, G. A. Oliveira, G. Mohr, F. Beckenkamp, A. Rieger, E. A. Lobo, L. H. R. Rodrigues and F. L. Machado (2022). "Microbial fuel cells and constructed wetlands as a sustainable alternative for the treatment of hospital laundry wastewaters: Assessment of load parameters and genotoxicity." *Journal of environmental chemical engineering* 10(3): 108105.

Mao, D.; Wang, Z.; Wu, J.; Wu, B. et al. China's wetlands loss to urban expansion. *Land degradation & development*, 29, n. 8, p. 2644-2657, 2018.

Mateos, S., P. Daza, I. Domínguez, J. A. Cerdas and F. Cortés (2008). "Genotoxicity detected in wild mice living in a highly polluted wetland area in south western Spain." *Environmental pollution* (1987) 153(3): 590-593.

Marchand, É., Petit, F., Alliot, F., Blanchoud, H., Constantini, D., Guigon, E., Martin, N., Traoré, S., & Goutte, A. (2024). Ocorrência contrastada de antibióticos e pesticidas em peixes expostos in situ a efluentes urbanos: um experimento de enjaulamento de 20 dias. <https://doi-org.ez127.periodicos.capes.gov.br/10.1002/etc.5810>

Mayoudom, E. V. T., E. Nguidjoe, R. N. Mballa, O. F. Tankoua, C. Fokunang, C. Anyakora and K. N. Blackett (2018). "Identification and quantification of 19

pharmaceutical active compounds and metabolites in hospital wastewater in Cameroon using LC/QQQ and LC/Q-TOF." *Environmental monitoring and assessment* 190(12): 723-710.

Mora-Alvarado, D. A.; Rivera-Navarro, P. C.; Acunmía-Cubero, F.; Portuguez, C. F. Agua para consumo humano y saneamiento en Centros Educativos de Costa Rica al anMfo 2017. *TecnologΓ-a en Marcha*, 32, n. 5, p. 5-16, 2019.

Mr, S.; MI, M.; Joseph, S. Analysis of potential of Napier grass, Vetiver and Equisetum plants for the treatment of domestic greywater using box-type constructed wetlands. *Water science and technology*, 84, n. 10-11, p. 2913-2922, 2021.

Oliveira, G. A.; Colares, G. S.; Lutterbeck, C. A.; Dell'osbel, N. et al. Floating treatment wetlands in domestic wastewater treatment as a decentralized sanitation alternative. *Science of The Total Environment*, 773, p. 145609, 2021/06/15/ 2021.

Prasertkulsak, S., C. Chiemchaisri, W. Chiemchaisri, T. Itonaga and K. Yamamoto (2016). "Removals of pharmaceutical compounds from hospital wastewater in membrane bioreactor operated under short hydraulic retention time." *Chemosphere (Oxford)* 150: 624-631.

Saeed, T., Al-Muyeed, A., Yadav, A. K., Miah, M. J., Hasan, M. R., Zaman, T., Hasan, M., Ahmed, T. (2018). Remoção de micropoluentes de águas residuais urbanas por zonas húmidas construídas com *Phragmites australis* e *Salix matsudana*. *Ciência do Meio Ambiente Total*, 25, 36474–36484.

Saeed, T., Al-Muyeed, A., Yadav, A. K., Miah, M. J., Hasan, M. R., Zaman, T., Hasan, M., Ahmed, T. (2023). Influência da aeração, plantas, eletrodos e cargas poluentes no desempenho do tratamento de áreas úmidas construídas: um estudo abrangente com septagem. *Ciência do Meio Ambiente Total*, 892, 164558.

Saeed, T.; Miah, M. J.; Khan, T.; Ove, A. Pollutant removal employing tidal flow constructed wetlands: Media and feeding strategies. *Chemical engineering journal (Lausanne, Switzerland : 1996)*, 382, p. 122874, 2020.

Semasinghe, C.; Jatrana, S.; King, T. J. Exploring the associations between the perception of water scarcity and support for alternative potable water sources. *PloS one*, 18, n. 3, p. e0283245-e0283245, 2023.

Silveira, D. D., Farooq, A. J., Wallace, S. J., Lapolli, F. R., Nivala, J., Weber, K. P. (2022). Dinâmica espacial estrutural e funcional de comunidades microbianas em áreas úmidas de tratamento de fluxo horizontal aeradas e não aeradas. *Ciência do Meio Ambiente Total*, 838(Parte 4), 156600.

Sörensngård, M., Campos-Pereira, H., Ullberg, M., Lai, F. Y., Golovko, O., & Ahrens, L. (2019). Mass loads, source apportionment, and risk estimation of organic micropollutants from hospital and municipal wastewater in recipient catchments. *Chemosphere*, 234, 931-941.

Vazquez-Roig, P., V. Andreu, M. Onghena, C. Blasco and Y. Picó (2011). "Assessment of the occurrence and distribution of pharmaceuticals in a Mediterranean wetland (L'Albufera, Valencia, Spain) by LC-MS/MS." *Analytical and bioanalytical chemistry* 400(5): 1287-1301.

Venditti, S., Brunoferrara, H., & Hansen, J. (2022). Comportamento de 27 contaminantes emergentes selecionados em áreas úmidas construídas de fluxo vertical como pós-tratamento de águas residuais municipais. *Science of the Total Environment*, 153234. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153234>

Vymazal, J., T. Dvořák, J. Běláček, M. Koželuh and L. R. Kule (2017). "Occurrence and removal of pharmaceuticals in four full-scale constructed wetlands in the Czech Republic – the first year of monitoring." *Ecological engineering* 98: 354-364.

Wasita, D. H., Hadisoebroto, R., & Fachrul, M. F. (2019). Efficiency of constructed wetland using vetiver plant (*Vetiveria* sp.) to reduce BOD and COD concentration in greywater. *Journal of Physics: Conference Series*, 1402(3), 033007. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1402/3/033007>

Wu, Y.; Han, R.; Yang, X.; Zhang, Y. et al. Long-term performance of an integrated constructed wetland for advanced treatment of mixed wastewater. *Ecological engineering*, 99, p. 91-98, 2017.

Zolfaghari, M., P. Drogui and J. F. o. Blais (2018). "Removal of macro-pollutants in oily wastewater obtained from soil remediation plant using electro-oxidation process." *Environmental science and pollution research international* 25(8): 7748-7757.