



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL
MESTRADO**

ELIZANDRO OLIVEIRA SILVEIRA

Santa Cruz do Sul

2016

ELIZANDRO OLIVEIRA SILVEIRA

**SISTEMA INTEGRADO REATOR ANAERÓBIO+MICROALGAS+WETLANDS
CONSTRUÍDOS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES URBANOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental – Mestrado, linha de pesquisa “Tecnologias de Tratamento de Águas de Abastecimento e Residuárias” da Universidade de Santa Cruz do Sul, para a obtenção do título de Mestre em Tecnologia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Ênio Leandro Machado

Santa Cruz do Sul

2016

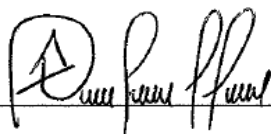
ELIZANDRO OLIVEIRA SILVEIRA

ELIZANDRO OLIVEIRA SILVEIRA

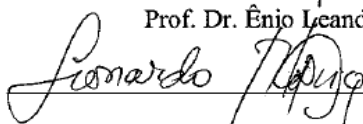
**SISTEMA INTEGRADO REATOR ANAERÓBIO+MICROALGAS+WETLANDS
CONSTRUÍDOS NO TRATAMENTO DE EFLUENTES URBANOS**

Dissertação defendida e aprovada em 26 de fevereiro de 2016.

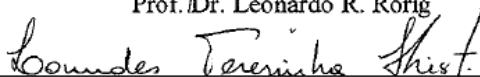
BANCA EXAMINADORA



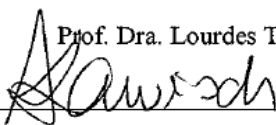
Prof. Dr. Ênio Leandro Machado



Prof. Dr. Leonardo R. Rörig



Prof. Dra. Lourdes Terezinha Kist



Prof. Dra. Adriane de Assis Lawisch Rodriguez

UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL

2016



Prof. Dr. Rosana de Cassia de Souza Schneider
Coordenadora
Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental
UNISC

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos que direta ou indiretamente fizeram parte deste momento tão significativo em minha de vida.

Primeiramente quero aqui registrar minha gratidão e admiração à mulher mais forte e guerreira que tive a oportunidade de conhecer, minha mãe Ledi Oliveira. Graças a ela aprendi a lutar e jamais desistir dos meus sonhos, serei eternamente grato pelos seus ensinamentos de coragem e perseverança sempre, a você meu muito obrigado!

Ao meu padrasto Jair Nogueira que mesmo não sendo meu pai sanguíneo me deu todo amor e carinho, além de ensinamentos valiosos de honestidade e sinceridade, me mostrando não o caminho mais fácil, mas sempre o mais correto, estes tipos de exemplos e ensinamentos sempre serão lembrados. Obrigado por permitir que este humilde menino compartilhasse de seu conhecimento até tornar-se um homem!

Aos meus familiares que sempre acreditaram no meu potencial, em especial minha irmã Andréia que foi a precursora da família demonstrando que é possível conquistar o conhecimento através do nosso próprio esforço, e que podemos cursar graduação, especialização e o que mais sonharmos, só depende de nós. A você agradeço pelo exemplo e inspiração!

Ao meu primo e “irmão” Adriano, por ser meu fiel amigo, companheiro e vivenciar minhas “batalhas” como se fossem suas. Obrigado por sempre estar disposto a me ajudar em todas as horas, com certeza esta conquista tem muito do seu suor, jamais me esquecerei dos tempos em que éramos apenas dois meninos com sonhos que pareciam impossíveis de serem alcançados, pois bem, não são!

Agradeço a família Pereira Sarmiento, meu sogro Romário, sogra Maria Elena e avó Maria, primeiramente, por proporcionar a existência da minha esposa e companheira. Depois pelo apoio, dedicação e auxílio nos cuidados com minha filha amada quando eu não estava presente, possibilitando assim, o tempo e a tranquilidade necessários para que eu me dedicasse ainda mais na realização deste sonho, a vocês minha eterna gratidão!

Aos colegas e amigos de Mestrado Jeferson Couto, Ana Zappe e Graciela Pacheco pela parceria e auxílio nas mais diversas ordens, começamos colegas e tenho a certeza de terminarmos esta caminhada como amigos, obrigado.

Aos bolsistas do LATTAE pelo auxílio e trabalho árduo durante o período, em especial ao Matheus Winck que foi de extrema importância no desenvolvimento das análises além da grande parceria, a vocês muito obrigado.

As bolsistas de biotecnologia Alana Rael e Daiane Moura, pelo tempo e paciência com que me receberam e trabalharam no desenvolvimento dos testes de toxicidade, sempre dispostas a ajudar com dedicação e disciplina.

Ao professor, doutor Alexandre Rieger que me recebeu de braços abertos, mesmo não fazendo parte do grupo de docentes deste Mestrado. Seus ensinamentos contribuíram muito e sua cooperação foi fundamental para que o presente estudo pudesse ser desenvolvido. Ao senhor meu respeito e admiração sempre, seu auxílio demonstra que podemos trabalhar com multidisciplinaridade em busca de um objetivo comum, muito obrigado!

Ao meu orientador, exemplo de profissional dedicado, professor doutor Ênio Leandro Machado, agradeço por ter me orientado nesse projeto e estado ao meu lado nessa trajetória. Não tenho palavras para expressar o quanto fico feliz por compartilhar de seu conhecimento neste período de dois anos. Muitos foram os ensinamentos, com o senhor aprendi na prática as principais virtudes de um educador, bom senso, humildade, conhecimento, dedicação, profissionalismo e senso crítico, será sempre um exemplo para mim, parabéns e muitíssimo obrigado!

Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental pelos conhecimentos transmitidos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES – pela bolsa cedida para o Mestrado em Tecnologia Ambiental da UNISC.

Por fim, gostaria de agradecer a minha esposa Raquel Sarmiento Silveira por tudo! Por ser a pessoa mais determinada e otimista que, graças a Deus, eu tive a sorte de conhecer. Por ter sempre uma palavra de apoio e incentivo nos momentos de cansaço. Por ter a paciência necessária para suportar este período de trabalho, onde muitas vezes tive que abdicar do convívio familiar. Por acreditar que eu era capaz de realizar este sonho, quando nem mesmo

eu acreditava. Por me proporcionar a mais bela das dádivas divinas, ser pai, a Elisa é prova concreta do nosso amor. Sou grato por ter esta mulher que vou amar para sempre, muito obrigado meu amor!

“Existe dentro de cada ser
um universo imenso de
possibilidades!”

Autor desconhecido

RESUMO

A concepção e construção do sistema Integrado Reator Anaeróbio+Microalgas+Wetland Construído Pós Microalgas (RA+MA+WCPMA), foi desenvolvido para realização dos ensaios de tratamento de efluentes de campus universitário localizado em Santa Cruz do Sul (UNISC). Águas negras e amarelas foram alimentadas para o sistema em regime de batelada a partir do tanque equalizador da Estação de Tratamento de Esgotos UNISC (ETE), considerando tempo de detenção hidráulico de três dias para o sistema integrado, dividido em duas etapas: Na etapa I foi desenvolvido o sistema integrado e realizada a coleta de amostras para o monitoramento de operação. Na etapa II foi mantido o sistema de análises com adaptações de configuração detectadas durante a Etapa I. Os abastecimentos após os ajustes utilizaram fatores de carga (a cada três dias) de 68.5 g de DQO dia⁻¹ para os reatores Anaeróbios (RA), 263,6 g m⁻¹ dia⁻¹ para cada unidade de *Wetlands* Construídos de Fluxo Vertical (WCFV), para cada unidade do sistema Filtro Testemunha (Controle-C) e de 87,83 g m⁻¹ d⁻¹ para a unidade contendo Microalgas (MA). As reduções dos parâmetros de cargas poluentes obtidas com o sistema integrado RA+MA+WCPMA foram eficientes em todos os parâmetros quando comparados ao Efluente Bruto (EB), principalmente em termos de remoção de Nitrogênio em geral, com índices de 100% de remoção de N-NH₃. Além de apresentar uma eficiência satisfatória na remoção de agentes eutrofizantes, houve também uma resposta promissora quando submetida aos ensaios de toxicidade, uma vez que o efluente analisado pós-tratamento com o sistema integrado não apresentou fitotoxicidade, ecotoxicidade e genotoxicidade superando os resultados encontrados com os tratamentos WCFV e Controle - C. O estudo desenvolvido obteve resultados expressivos que indicam ser esta uma alternativa promissora no tratamento de águas residuárias para unidades descentralizadas.

Palavras-chave: Microalgas; *Wetlands* Construídos; Sistema Integrado, Efluentes Urbanos.

ABSTRACT

The design and construction of the Integrated Anaerobic Reactor (AR) + Microalgae system + Post Microalgae Constructed Wetland (AR + MA + PMACW), was developed for realization of campus sewage treatment trials located in Santa Cruz do Sul (UNISC). Black and yellow water were fed to the system in batch regime from the equalizer Tank Effluent UNISC Treatment Plant (WWTP), considering hydraulic retention time of three days for the integrated system, divided into two stages: Stage I was developed the integrated system and realized the collection of samples for monitoring the operation; Stage II was kept the system analysis with setup adjustments identified during Stage I. The supplies after adjustments (every three days) used in load factors 68.5 g day^{-1} for the anaerobic reactor (AR), $263,6 \text{ g m}^{-1} \text{ day}^{-1}$ for each unit of the Constructed Wetlands of Vertical Flow (CWVF) and for each unit of the system Filter Control (Control-C) and $87,83 \text{ g m}^{-1} \text{ day}^{-1}$ for unit containing microalgae (MA). The reductions of the parameters of polluting loads obtained with the integrated AR + MA + CWPMA were effective in all parameters compared to the raw effluent (EB) mainly in terms of removing nitrogen groups, with ratios of 100% removal NH_3 . In addition to providing a satisfactory removal efficiency eutrophying agents, there was also a promising response when subjected to toxicity testing, since the effluent analyzed after treatment with the integrated system showed no phytotoxicity, ecotoxicity and genotoxicity exceeding the results obtained with CWVF treatments and Control-C. The study developed obtained significant results that indicate that this is a promising alternative in the treatment of wastewater for decentralized units.

Keywords: Microalgae; Constructed wetlands; Integrated, System, Urban Wastewater.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Proposta de classificação e nomenclatura para o sistema de <i>Wetlands</i> Construídos.....	25
Figura 2: Sistema de tratamento do tipo <i>Wetlands</i> Construídos Horizontal de Fluxo Subsuperficial.	27
Figura 3: Detalhes do desenvolvimento do projeto piloto.....	34
Figura 4: Etapas de tratamento da ETE UNISC e localização do experimento com os <i>Wetlands</i> Construídos e sistema integrado RA+MA+WCPMA.	36
Figura 5: Sistema de tratamento com recirculação do tipo cone (A), célula fotovoltaica (B).	37
Figura 6: Fluxograma ilustrativo da ETE UNISC e o sistema integrado desenvolvido inicialmente na Etapa I.	38
Figura 7: Foto ilustrativa destacando o cano de 0,5 polegadas e a mangueira flexível conectando os compartimentos.	39
Figura 8: Representação dos <i>Wetlands</i> construídos à direita e o sistema “Testemunha” (Controle - C) à esquerda.....	39
Figura 9: Raízes de <i>Hymenachne grumosa</i> (A); ocorrência natural da espécie característica dos campos sulinos (B).....	41
Figura 10: Hidrômetro para controle de vazão e ajustes do abastecimento dos sistemas de monitoramento.....	42
Figura 11: Sistema de armazenamento e abastecimento RA, com controle de vazão e operação.....	44
Figura 12: Fluxograma indicando os pontos de coleta das amostras após a adoção da Configuração II.....	46
Figura 13: Ilustração do método de ensaio de fitotoxicidade com sementes de <i>Lactuca sativa</i>	48
Figura 14: Organismo teste <i>Daphnia magna</i> Straus (1820).....	49
Figura 15: Incubadora de cultivo de organismos teste.	50
Figura 16: Sementes de <i>Allium cepa</i> expostas em placas de petri, na germinadora.....	52
Figura 17: Lâminas submetidas à eletroforese.	53
Figura 18: Nucleóides observados em microscopia óptica (400 x).....	54
Figura 19: Configuração I: Fotobiorreator do tipo cone para proliferação das Microalgas (MA); (TQR) Tanque de Recirculação.....	58

Figura 20: Configuração I: Detalhamento dos sistemas operacionais (Sistema Integrado Microalgas+Wetlands Construído de Fluxo Sub-superficial) representado no canto superior direito da figura.	59
Figura 21: Temperatura média durante o período de desenvolvimento do projeto.....	61
Figura 22: Precipitação média durante o período de desenvolvimento do projeto.	62
Figura 23: Fluxograma ilustrativo da Configuração II: Com Reator Anaeróbio em funcionamento e sem o Tanque de Recirculação das Microalgas no sistema integrado.	64
Figura 24: Resultados referentes à média e desvio padrão da DBO ₅ configuração II.....	64
Figura 25: Desempenho das análises de DQO durante o monitoramento da Configuração II.	65
Figura 26: Dados obtidos referentes as análises de N. Amoniacal.....	66
Figura 27: Resultados das análises referentes aos níveis de concentração de P Total.....	67
Figura 28: Desenvolvimento das Microalgas durante o período de operação da Configuração II. Representação da curva de crescimento em unidades Absorciométricas (λ 686 nm) x (N+29)	69
Figura 29: Fluxograma demonstrando as principais mudanças desenvolvidas durante a Etapa II, configuração III.....	71
Figura 30: Ilustração representando os gêneros de Microalgas encontrados no sistema integrado MA+WCPMA, (A) <i>Desmodesmus</i> , (B) <i>Scenedesmus</i> e (C) <i>Chlorella</i>	73
Figura 31: Gráfico de crescimento das Microalgas durante o período de operação da Configuração III. Representação da curva de crescimento em unidades Absorciométricas (λ 686 nm) x (N=24).....	74
Figura 32: Gráfico comparativo entre as análises MA/WCPMA para verificação da retenção de biomassa microalgal.	74
Figura 33: Exemplo de geração de biomassa dos WCs.....	75
Figura 34: Alcalinidade do tanque com as Microalgas, representação dos níveis de HC ₃ ⁻ e CO ₃ ²⁻	78
Figura 35: Resultados referentes ao monitoramento de DQO durante a Configuração III. ...	80
Figura 36: Dados de monitoramento referentes ao desempenho dos sistemas em relação a DBO ₅	81
Figura 37: Média e desvio padrão do desempenho dos sistemas relacionados à remoção de Fósforo Total.	82
Figura 38: Índices de concentração referentes ao desempenho dos sistemas na remoção de N-NH ₃	83
Figura 39: Gráfico representando os resultados referentes as concentrações de NTK.	84

Figura 40: Resultados referentes aos níveis de Nitrato presentes nas análises durante a Configuração III.	84
Figura 41: Ensaio de fitotoxicidade referente ao número de sementes germinadas, média e desvio padrão.....	88
Figura 42: Ensaio de fitotoxicidade com <i>L. sativa</i> , média e desvio padrão do crescimento das raízes.....	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Recomendações para configuração e operação de <i>Wetlands</i> construídos de fluxo superficial (WCFS), e <i>Wetlands</i> de fluxo subsuperficial (WCFSS) no tratamento de águas residuais.....	26
Tabela 2: Métodos analíticos para caracterização do efluente bruto e efluentes tratados nos sistemas estudados (configuração III).	45
Tabela 3: Escala de toxicidade relativa para CE(I) 50 48 h(%) com <i>Daphnia magna</i>	51
Tabela 4: Caracterização do afluente (EB) concentração média dos parâmetros de qualidade, quadro comparativo com as resoluções do CONSEMA/RS.	56
Tabela 5: Resultados preliminares observados durante a operação da configuração I, média geral e desvio padrão dos parâmetros analisados.	60
Tabela 6: Resultados obtidos durante a configuração II, parâmetros de acompanhamento das características do efluente.....	68
Tabela 7: Quantificação média da biomassa gerada no período de 4 meses dos <i>Wetlands</i> Construídos.....	76
Tabela 8: Parâmetros de acompanhamento das características gerais dos efluentes.....	78
Tabela 9: Dados referentes ao monitoramento de Coliformes Totais durante a configuração III.	78
Tabela 10: Dados referentes aos resultados encontrados nas análises de <i>E. coli</i> durante a configuração III.	80
Tabela 11: Resultados das análises de Ecotoxicidade, média e desvio padrão.	88
Tabela 12: Resultados dos ensaios de Genotoxicidade referentes aos testes com <i>A. cepa</i> e <i>D. magna</i> , configuração III.	89

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANOVA: *Analysis of Variance*

AOAC: Associação Oficial dos Químicos Analíticos; do inglês *Association of Official Analytical Chemists*

C: Controle (Filtro Testemunha)

CE(I)50: Concentração Efetiva Inicial Mediana

CETER: Central de tratamento de resíduos

CF: Controle Final

CN: Controle Negativo

CONSEMA: Conselho Estadual do Meio Ambiente (Rio Grande do Sul)

DBO₅: Demanda Bioquímica de Oxigênio em 5 dias

DMSO: Dimetilsulfóxido

DQO: Demanda Química de Oxigênio

EB: Efluente Bruto

EDTA: Ácido Etileno Diamino Tetra-acético

ETE: Estação de Tratamento de Esgoto

FD: Frequência de Dano

GEE: Gases do Efeito Estufa

HP: Medida de potência

ID: Índice de Dano

ISO: International Organization for Standardization

LATTAE: Laboratório de Tecnologia de Tratamento de Águas e Efluentes

MA: Microalgas

mca: Metros de coluna de Água

NBR: Norma brasileira de regulamentação técnica

N-NH₃⁻: Nitrogênio Amoniacal

NTK: Nitrogênio Total Kjeldahl

OD: Densidade Óptica

PEAD: Polietileno de Alta Densidade

POA's: Processos Oxidativos Avançados

PVC: Policloreto de Vinila

Q: Vazão

RA: Reator Anaeróbico

SAC's: Sistemas Alagados Construídos

SD: Sistema de Distribuição

TDH: Tempo de detenção hidráulica

UA: unidades arbitrárias

UASB: Digestor Anaeróbico de Fluxo Ascendente; do inglês *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*

uT: Unidade de Turbidez

UV: Ultravioleta

WC: *Wetland* Construído

WCFS: *Wetlands* Construídos de Fluxo Superficial

WCFVS: *Wetlands* Construídos de Fluxo Vertical Subsuperficial

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
2. OBJETIVOS.....	20
2.1 Objetivo Geral.....	20
2.2 Objetivos Específicos	20
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
3.1 Efluentes urbanos.....	21
3.2 <i>Wetlands</i> Construídos (WCs).....	22
3.3 Microalgas	28
3.4 Toxicidade em corpos d'água	30
3.5 Sistemas integrados.....	33
4. METODOLOGIA	35
4.1 Caracterização do local de estudo.....	35
4.2 Configuração e montagem dos sistemas operacionais.....	36
4.3 Caracterização das macrófitas aquáticas.....	40
4.4 Ajustes dos sistemas: Configuração II, Etapa I	41
4.5 Etapa II: Configuração III.....	43
4.6 Ensaio de Fitotoxicidade	47
4.7 Metodologia de Cultivo e Teste (<i>Daphnia magna</i>)	48
4.8 Processamento da Informação	51
4.9 Genotoxicidade com organismo teste vegetal <i>Allium</i>	48
4.1.0 Obtenção de nucleóides para posição.....	49
4.1.1 Elaboração das lâminas <i>A. cepa</i>	49
4.1.2 Contagem dos nucleóides.....	49
4.1.3 Genotoxicidade com organismo teste <i>Daphnia magna</i> e elaboração das lâminas.....	51
4.1.4 Análise Estatística.....	52
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	56
5.1 Caracterização do afluente da ETE-UNISC	56
5.2 Desenvolvimento de configuração e operação do sistema integrado Microalgas + <i>Wetlands</i> Construídos em regime de batelada.....	57
5.3 Configuração II, Etapa I.....	63

5.4	Ensaio de tratamento, Etapa II, configuração III.....	70
5.5	Caracterização das microalgas.....	72
5.6	Caracterização da biomassa gerada pelos <i>Wetlands</i> Construídos.....	75
5.7	Ensaio analítico, etapa II, configuração III.....	76
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	91
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93
8.	ANEXOS.....	108

1. INTRODUÇÃO

A eutrofização dos corpos d'água representa uma ameaça grave à saúde pública e ao equilíbrio dos ambientes aquáticos, principalmente das águas superficiais, bem como do ecossistema em geral.

O lançamento de águas residuárias não tratadas ou parcialmente tratadas são as principais causas de eutrofização devido a sua elevada carga de nutrientes.

Assim, o tratamento das águas residuárias para remoção de nutrientes aos níveis aceitáveis de reuso e/ou descarga vem sendo discutido e surge como um grande desafio. Uma vez que, as tecnologias convencionais disponíveis, são baseadas em métodos químicos e físicos que ainda são alternativas de custo elevado e ambientalmente insustentáveis, já que requerem uso de produtos químicos, que além de emitirem CO₂, removem ao invés de recuperar, Nitrogênio e Fósforo (ARBIB *et al.*, 2014; SMITH *et al.*, 1999; CAI *et al.*, 2013 e BOELEE *et al.*, 2014).

Desta forma, diversos sistemas de tratamento de efluentes vêm sendo estudados com o objetivo de recuperar a qualidade dos corpos d'água de maneira rápida e a um baixo custo, diminuindo o tempo de detenção e os produtos químicos ministrados para o tratamento.

Para tal, muitos pesquisadores estão combinando tecnologias de tratamento em suas pesquisas, para reduzir gastos e aumentar a eficiência energética (YALCUK & UGURULU, 2009 e SAEED & SUN, 2012).

A integração de processos de tratamento visando à recuperação de nutrientes é uma tendência, já que o objetivo não é mais só reduzir a eutrofização dos corpos d'água para disposição final, além disso, os esforços tendem a possibilitar o reuso dessas águas residuárias pós- tratamento (HARRINGTON & SCHOLZ, 2010; SAEED & SUN, 2013 e BADHE *et al.*, 2014).

Sabe-se que a recuperação dos recursos hídricos através da descontaminação dos corpos d'água, é um dos maiores desafios da sociedade humana. Assim, processos que revitalizem e/ou recuperem a qualidade da água são de inestimável relevância e têm lugar destacado dentro das tecnologias ambientais a serem trabalhadas e fundamentadas nos próximos anos.

Dentro deste contexto, a integração de sistemas de tratamento de águas residuárias para fins de reuso e/ou para descarte nos corpos hídricos vem sendo estudado e proposto por diversos pesquisadores (LI *et al.*, 2014; CHEN *et al.*, 2014 e RAI *et al.*, 2013).

Aspectos de projeto, configuração, manutenção, controle analítico e integração com outros métodos de tratamento vêm ganhando espaço para pesquisas e aplicações do saneamento descentralizado com os sistemas alagados construídos.

Experiências com prefeituras, casas de estudantes universitários, unidades de extensão para área rural, especialmente via Emater e Embrapa ganham destaque para inclusão de macrófitas fixas, submersas e flutuantes em unidades de tratamento de esgotos (ZERWES *et al.*, 2015).

A constante busca por estruturas de saneamento de baixo custo e mais sustentáveis, do ponto de vista da eficiência, indicam como uma das opções o sistema por zona de raízes ou *Wetlands* Construídos (WCs), que utiliza plantas no tratamento de águas residuais (PHILIPPI JUNIOR e SEZERINO, 2004 e WU, 2014).

Os chamados *Wetlands* Construídos (WCs) surgem como alternativa para fitorremediação de efluentes urbanos. Acompanhados por processos de pré-tratamento anaeróbio, têm apresentado grande potencial de recuperação de energia e nutrientes com baixo custo, diminuindo os índices de pressão ambiental no processo de recuperação de águas residuárias (WINCK *et al.*, 2015).

Lu *et al.*, 2015 referencia diferentes processos integrados com WCs para o tratamento dos efluentes: Reatores Anaeróbios + WCs; Reator Anaeróbio + Tanque de Aeração + WCs e Filtro Anaeróbio + WCs. Estes processos combinados vêm obtendo resultados promissores quando comparados aos sistemas convencionais de tratamento de efluentes urbanos.

Apesar dos ganhos ambientais dos WCs, os fatores de carga poluente para NTK e P total têm requisitos de área de superfície que podem limitar a utilização destes sistemas. Para contornar este problema, existem processos que podem reduzir os fatores de carga através de pré-tratamento (HORN *et al.*, 2014).

Nesse contexto, faz-se necessária a implementação de tecnologias combinadas com WCs para aperfeiçoar e aumentar sua eficiência no processo de remoção dos agentes eutrofizantes. A integração de processos biológicos como Reatores Anaeróbios para pré-tratamento e os chamados Processos Oxidativos Avançados (POAs) podem ser citados como exemplo de sistema integrado (TSYDENOVA, 2015).

As ações de polimento de tratamento anaeróbio vêm sendo pesquisadas para adequação quanto aos agentes eutrofizantes de corpos hídricos de superfície. Gschlöbl *et al.* (1998) pesquisaram, na Alemanha, a primeira tendência de complemento de processos com potencial eutrofizante residual. No caso, as lagoas de estabilização necessitavam de polimento para descarte dos efluentes tratados em corpos receptores sensíveis.

Assim, o uso de *Wetlands* Construídos na remoção de microalgas foi investigado em períodos de verão na Alemanha, considerando a temperatura média de 15,4 °C foi possível à remoção de 54,2 % de microalgas (associadas às medidas dos percentuais de clorofila) aplicando carga hidráulica de superfície de 20 cm dia⁻¹. Konnerup *et al.* (2011) aplicaram os mesmos princípios da pesquisa para o tratamento de águas residuárias na piscicultura.

Com as tendências recentes de recuperação de energia e nutrientes, além do reuso dos efluentes, pesquisas aplicam as microalgas como estratégia de biorremediação, o que proporciona as ações já citadas. Pesquisas feitas por Aslan e Kapdan (2006) demonstraram coeficientes de remoção de 1,5 mg de N-NH₄⁺ e 0,5 mg PO₄⁻³ por mg de clorofila por dia.

A proposição de um sistema que integre as tecnologias descritas anteriormente poderá contribuir significativamente para aperfeiçoar custos operacionais, ampliar a eficiência do sistema de tratamento além de recuperar energia através da biomassa gerada durante o processo de remoção dos agentes eutrofizantes do efluente a ser tratado.

Assim sendo, neste trabalho objetivou-se desenvolver, construir e operar um sistema integrado combinando microalgas (especialmente *Desmodesmus* e *Scenedesmus*) com pré-tratamento por anaerobiose e pós-tratamento com *Wetlands* Construídos de fluxo vertical, visando reduzir a ação eutrofizante de efluentes urbanos.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um sistema integrado com Microalgas e *Wetlands* Construídos visando reduzir a ação eutrofizante nos efluentes urbanos.

2.2 Objetivos Específicos

* Construir uma unidade para proliferação de microalgas com incidência de energia solar e aplicação de célula fotovoltaica visando o pré-tratamento de efluentes urbanos;

* Adequar sistema com microalgas para pré-tratar efluentes integrando com *Wetlands* com fluxo vertical;

* Caracterizar os parâmetros de controle e eficiência para o sistema integrado de tratamento de efluente;

* Avaliar a eficiência de remoção de toxicidade do efluente através do sistema proposto.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Gestão e Gerenciamento de Efluentes urbanos

Diante da desordenada ocupação urbana e o crescimento populacional, surgem os problemas ambientais relacionados ao saneamento básico, merecendo destaque as doenças que têm veiculação hídrica.

As águas residuárias podem ser consideradas uma significativa porta de entrada para a dispersão de diversas doenças infectocontagiosas, principalmente nos países em desenvolvimento onde as condições sanitárias são precárias.

O lançamento de efluentes urbanos não tratados nos corpos hídricos é considerado uma das maiores fontes de poluição no Brasil (JORDÃO & PESSOA, 2009; BERTONCINI, 2008; COLARES & SANDRI, 2013).

Esta prática está diretamente relacionada a diversos problemas de saúde pública, de maior ou menor impacto de acordo com os efeitos adversos que podem causar aos usos da água.

Dentre estes impactos podemos citar o consumo de oxigênio dissolvido devido à alta degradação da matéria orgânica e o lançamento de nutrientes, que são responsáveis pela eutrofização nos corpos receptores (ARANTES *et al.*, 2014; VIEIRA & HENKES, 2014).

Em relação às demandas de saneamento no Brasil, o plano de desenvolvimento deveria considerar o atendimento e a aplicação de dois extremos: regiões totalmente isentas de infraestrutura e algumas cidades onde os processos apenas anaeróbios de tratamento devam evoluir para agregar processos redutores do impacto eutrofizante, infectante e tóxico. Outra discussão importante para o sistema de saneamento é a adoção das unidades centrais de tratamento e aquelas descentralizadas (HORN *et al.*, 2014).

A remoção de sólidos e matéria orgânica pode ser realizada através de tratamento primário, no entanto, este tratamento não é eficaz na remoção de nitrogênio, fósforo e patógenos, cujos teores devem estar dentro das normas para serem reutilizados ou despejados em cursos de água (BERTONCINI, 2008).

Setores de serviços apresentam características de águas residuárias com carga poluente mais intensa em nitrogênio amoniacal, entre os quais podem ser citados os de universidades. O interessante é que, a referência de centros universitários abriga uma comunidade superior a 10.000 pessoas ao longo de suas atividades em uma semana, (centros universitários ou

universidades de médio porte), com máximos de geração *per capita* de efluentes, (com águas negras e amarelas, bem como as azuis) até $10 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (HORN, 2011).

No caso anteriormente descrito é comum a adoção de ETEs com configurações do tipo UASB e Biofiltro Aerado com tanques de equalização de até duas horas de tempo de detenção hidráulica e carga orgânica volumétrica no reator UASB de $478,8 \text{ kg DQO m}^3 \text{ dia}^{-1}$.

A carga hidráulica no Biofiltro Aerado chega ao valor de $2,06 \text{ kg DQO m}^3 \text{ dia}^{-1}$. Quanto aos parâmetros de maior ação eutrofizante dos efluentes em discussão destacam-se o N-NH_3 e o fósforo total, onde foram caracterizados nos efluentes pós UASB, valores superiores a 35 e 8 mg L^{-1} , respectivamente (HORN, 2011).

3.2 *Wetlands* Construídos (WCs)

Um dos maiores problemas ambientais atualmente relaciona-se diretamente a água, sua escassez, poluição e degradação de recursos hídricos em todo o mundo. Além disso, a situação está tornando-se cada vez mais preocupante devido aos efeitos combinados da atividade hostil ao meio ambiente e o grande crescimento da população, especialmente em países em desenvolvimento (VYMAZAL, 2011 e WU *et al.*, 2014).

Historicamente, os sistemas de tratamento de esgotos centralizados tradicionais têm sido utilizados com sucesso para o controle da poluição da água na maioria dos países (LI *et al.*, 2014). No entanto, estas tecnologias de tratamento de águas residuárias, como por exemplo, processo de lodos ativados, biorreatores de membrana e separação por membranas são caros além de não serem totalmente viáveis para ampla aplicação nas áreas rurais (CHEN *et al.*, 2014).

Estes sistemas são limitados e insuficientes quando o efluente apresenta altas concentrações de matéria orgânica e/ou metais pesados (WU *et al.*, 2013a). Desta forma, a implementação de tecnologias alternativas de baixo custo e eficientes para o tratamento de águas residuárias vem se tornando significativas, especialmente nas regiões em desenvolvimento.

Os *Wetlands* Construídos (WCs) surgem como opção razoável para o tratamento de águas residuárias, atraindo grande atenção, devido aos seus requisitos de fácil operação, manutenção e menor custo (RAI *et al.*, 2013).

A partir de observações de processos que ocorrem em alagados naturais, como banhados e pântanos, idealizou-se a utilização da fitorremediação através dos chamados

Wetlands Construídos (WCs), uma vez que, estes sistemas proporcionam as condições de autodepuração por estarem constantemente inundados, através de reações obtidas entre a água, o solo e os vegetais, os chamados processos biogeoquímicos realizam a reciclagem dos nutrientes (BORGES, 2007 e SANDES, 2008).

Classificados como “Sistemas Naturais de Tratamento de Águas Residuárias”, os WCs primam pela mínima utilização de fontes externas de energia, de forma que seu funcionamento se sujeita aos fenômenos químicos, físicos e biológicos em velocidades próximas as encontradas na natureza.

Estes sistemas utilizam-se dos processos acima citados para ciclagem e degradação de compostos com potencial poluente. Dentre as tecnologias que também podem ser classificadas sob esta ótica estão os filtros biológicos e lagoas de estabilização (KADLEC; WALLACE, 2009 e STOTTMEISTER *et al.*, 2003).

Sistemas de WCs costumam apresentar uma alta taxa de aeração, sejam por difusão atmosférica, convecção ou pelas raízes das plantas. Mesmo assim, estes mecanismos naturais mostram-se insuficientes na manutenção de uma oxidação significativa de formas nitrogenadas e de matéria orgânica, fato que pode ser minimizado por modificações nos sistemas de tratamento, a fim de aumentar o aporte de oxigênio (NIVALA *et al.*, 2013).

Muitas pesquisas apontam a necessidade de maiores investimentos em operação e instalação dos WCs com intuito de proporcionar a manutenção de uma condição em torno de $2 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ no interior dos sistemas de escoamento subsuperficial. Para tal estima-se, por exemplo, que seja preciso cerca de metade do consumo energético de um sistema de lodos ativados com nitrificação (AUSTIN; NIVALA, 2009 e WU *et al.*, 2014).

Alternativas visando minimizar esta deficiência de oxigenação destes sistemas têm sido estudadas por diversos pesquisadores, assim, a aeração artificial através de ar comprimido surge como uma tecnologia que pode ser aplicada em diferentes tipos de WCs, de fluxo subsuperficial vertical e horizontal (FAN *et al.*, 2013; OUELLET-PLAMONDON *et al.*, 2006; ZHANG *et al.*, 2010) e em WCs de fluxo livre (OSEM *et al.*, 2006; YI *et al.*, 2014; ZHANG *et al.*, 2014), geralmente buscando melhorar a remoção de nitrogênio total e fósforo.

O uso de *Wetlands* Construídos (WCs) utilizando macrófitas está integrado com as potencialidades de saneamento rural de baixo custo, proporcionando reuso de águas residuárias, recuperação de nutrientes além do potencial para geração de energia. Ainda assim, pode-se destacar o baixo custo de implantação, a alta produção de biomassa que pode

ser utilizada na alimentação animal e a alta eficiência de melhoria dos parâmetros que caracterizam os recursos hídricos (SEZERINO, 2006).

Este sistema utiliza um processo de filtragem física em areia e brita, o que constitui um biofiltro que está associado às plantas. A concepção deste sistema busca aproveitar a capacidade de autodepuração da natureza, uma vez que a degradação das substâncias poluidoras contidas na água ocorre através da simbiose entre plantas, solo e/ou substrato artificial e microorganismos.

Estas Estações de Tratamento de Efluentes com Zonas de Raízes (ETEZR) apresentam variações no seu padrão de construção e formas de aplicação, com denominações diversificadas como Sistema de Banhados; *Wetlands* Construídos, Sistema Hidrobotânico, Biotopos Artificiais e Sistemas de Alagados Construídos (SACs), (KAICK, 2002).

A utilização dos WCs como polimento final de águas residuárias vêm sendo discutida por pesquisadores como uma tecnologia alternativa no tratamento descentralizado de esgotos. Este sistema apresenta variações de configuração e operação, podendo ser configurados com fluxo horizontal ou vertical, contínuo, semi-contínuo ou em batelada (FONDER & HEADLEY, 2013 e RAKOCZY, 2011) a escala de operação também é variada, operando desde fluxo contínuo em condomínios até escala de bancada (HERRERA-MELIÁN, *et al.*, 2012 e DUSFRENE *et al.*, 2015).

Portanto, com relação aos sistemas de *Wetlands* Construídos em unidades de batelada e em unidade de bancada, há referências de confiabilidade de pesquisas, sendo adequados para estudos de processos de remediação em efluentes.

Existem diversas formas de configuração que podem ser aplicadas nesta tecnologia de fitorremediação, assim, Fonder e Headley (2013) propuseram uma classificação quanto às múltiplas variantes de configuração de projeto dessa tecnologia, apresentando uma proposta de nomenclatura para estes sistemas.

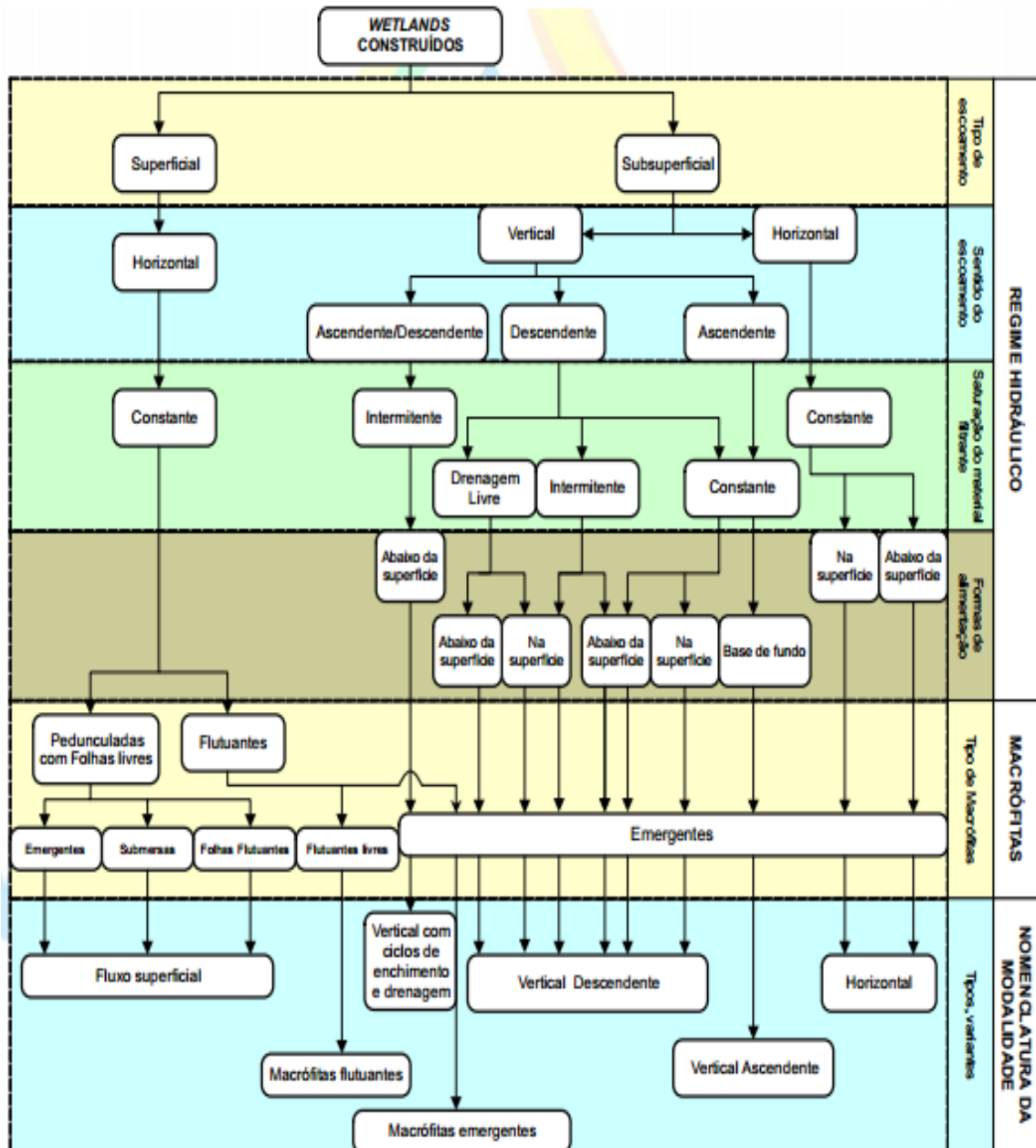


Figura 1: Proposta de classificação e nomenclatura para o sistema de *Wetlands* Construídos. (Fonte: FONDER & HEADLEY, 2013).

Com relação ao dimensionamento dos WCs, diversos autores descrevem em suas pesquisas dados que servem de base para a construção e operação destes sistemas descentralizados. As dimensões variam conforme a região e o clima podendo ser encontrados na literatura valores de $7\text{m}^2 \text{hab}^{-1}$ para o de fluxo subsuperficial horizontal, $4,8\text{m}^2 \text{hab}^{-1}$ nos de fluxo vertical e sistemas para polimento de $1,5\text{m}^2 \text{hab}^{-1}$, sendo estes valores aplicados a países de clima frio (ROUSSEAU, 2006).

Outros autores baseiam suas pesquisas na taxa de aplicação de carga orgânica, os quais indicam um dimensionamento que pode variar entre 3 e 5m^2 por habitante (SOUSA *et al.*, 2004; CALIJURI *et al.*, 2009; VYMAZAL, 2010 e VON SPERLING, 2005).

Estes sistemas podem ser formados utilizando macrófitas fixas sobre leitos flutuantes, configurações como as citadas apresentaram valores consideráveis de remoção de agentes eutrofizantes pela incorporação das plantas pelas raízes em contato com os efluentes (TANNER *et al.*, 2011 e WERAGODA *et al.*, 2012).

Após anos de estudo e implementação, os WCs têm sido amplamente reconhecidos como uma tecnologia extremamente viável no tratamento de diversos tipos de efluentes.

Os avanços na concepção e funcionamento tem aumentado de forma significativa a eficiência de remoção dos contaminantes além de ser uma tecnologia sustentável, com a manipulação adequada das condições hidráulicas e de operação.

Por exemplo, pode-se obter um excelente desempenho no tratamento de águas residuárias em condições climáticas de baixas temperaturas, as taxas de carregamento, a seleção das plantas e substratos também influencia diretamente rendimento destes sistemas (WU *et al.*, 2015).

Dentro deste contexto, Wu *et al.*, (2015), demonstra alguns exemplos de configuração de projeto e operação de WCs no tratamento de águas residuárias em climas frios.

Tabela 1: Recomendações para configuração e operação de *Wetlands* Construídos de fluxo superficial (WCFS), e *Wetlands* de fluxo subsuperficial (WCFSS) no tratamento de águas residuais.

Parâmetro	Critérios de projeto	
	WCFS	WCFSS
Tamanho (m ²)	Área disponível	< 2,5
Proporção (comprimento/largura)	3:1-5:1	< 3 : 1
Profundidade da água (m)	0,3-0,5	0,4-1,6
Inclinação hidráulica (%)	< 0,5	0,5-1
Taxa de carga hidráulica (m ³ dia ⁻¹)	< 0,1	< 0,5
Tempo de detenção hidráulica (dia ⁻¹)	5-30	2-5
Meio	Naturais , de preferência, com porosidade entre 0,3-0,5 mm , tamanho de partículas < 20 mm (50-200 mm para o entrada e saída).	
Vegetação	Espécies nativas de vegetação , preferencialmente, com densidade de cobertura vegetal de cerca de 80%.	

Fonte: Adaptado de Wu *et al.*, 2015.

Outra característica importante do sistema de tratamento de efluentes do tipo *Wetlands* Construídos é a evapotranspiração, Gallina *et al.*, (2012) obtiveram resultados que demonstram uma forte influência da umidade relativa e da temperatura em relação a eficiência

na evapotranspiração, podendo a mesma chegar ao valor de 67,5% num período de 12 horas, onde registrou-se um aumento de temperatura e diminuição significativa de umidade.



Figura 2: Sistema de tratamento do tipo *Wetlands* Construídos Horizontal de Fluxo Subsuperficial. (Fonte: GALLINA, 2012).

Segundo Andrade (2015) “Os sistemas de tratamento por WCs requerem maiores áreas de instalação e muitas vezes não apresentam a remoção de nutrientes esperada, seja por problemas de operação ou pelas características desfavoráveis do modelo escolhido”.

Ainda, o mesmo autor relata que os fatos supracitados têm conduzido a realização de estudos visando à melhoria do desempenho quanto à remoção de agentes eutrofizantes, principalmente nitrogênio e fósforo.

Além de propor uma maior compactação dos aparatos reduzindo assim a demanda por grandes áreas de instalação, de modo a facilitar sua aplicação em regiões onde não há muita disponibilidade de área e/ou possuem valor muito elevado, inviabilizando sua implantação.

3.3 Microalgas

As Algas são uma assembleia heterogênea de organismos com dimensões que vão de unicelulares microscópicos como o plâncton de apenas 0,2-2,0 mm de diâmetro para gigante kelps com folhas de até 60 m. Pertencem a diversas linhagens evolucionárias, são predominantemente fotossintéticas e não apresentam os órgãos e características reprodutivas complexas que as plantas terrestres possuem. Incluem organismos procariontes (bactérias) e eucariontes (protistas e plantas) (GRAHAM & WILCOX, 2000; WAN, 2012).

A definição das microalgas como indivíduos microscópicos com clorofila “a”, um talo não diferenciado em raiz, caule e folhas foi determinante para os especialistas no estudo destes microrganismos.

Para os ficologistas, o termo microalgas referencia as algas microscópicas, além das cianofíceas, denominadas no passado de bactérias fotossintéticas (LEE, 1989 e TOMASSELLI, 2008), inseridas dentro do grupo conhecido como algas verdes (*Chlorophytas*) as microalgas são exemplos de organismos eucarióticos (MATA *et al.*, 2010).

Estes organismos fotossintetizantes possuem uma ampla distribuição, ocorrendo em ambientes aquáticos tanto marinhos quanto em águas doces, ou mesmo em ambientes terrestres, devido sua estrutura celular simples (unicelular ou multicelular simples).

São capazes de crescer sob as mais diferentes condições ambientais, geralmente de vida livre, podendo ser encontradas fixadas em substratos em relações harmônicas, como, por exemplo, o mutualismo entre a cianofícea *Anabaena azollae* e a macrófita aquática *Azolla filiculoides* (DOUMIT, 2004 e SINGH & SHARMA, 2012).

O fato de possuírem estrutura celular simples pode ser considerado um facilitador ambiental, uma vez que estes microrganismos crescem em torno de cem vezes mais rapidamente do que as plantas terrestres, dobrando sua biomassa em menos de um dia.

Esta característica pode estar diretamente relacionada à elevada relação superfície/volume conferindo a estes altas taxas de assimilação de nutrientes, como não necessitam dispor energia na produção de celulose para compor elementos estruturais característicos de plantas superiores, as microalgas podem atingir taxas de crescimento muito mais elevadas do que as culturas terrestres (LAM *et al.*, 2012 e YUE *et al.*, 2014).

Estes microrganismos possuem mecanismo fotossintético semelhante ao das plantas terrestres, no entanto, por sua ocorrência maior em meio aquoso e organização celular

simples, são capazes de obter com maior facilidade, nutrientes como: Nitrogênio, Fósforo e Carbono.

Sendo assim, mais eficientes na assimilação dos nutrientes e conseqüentemente na conversão destes em biomassa. Estes organismos microscópicos são responsáveis por cerca de 50% da fixação de carbono orgânico no mundo, por esta alta taxa de fixação, são também consideradas mais eficientes na liberação de O₂, através da fotossíntese, do que as florestas (RATHA & PRASANNA, 2012 e ROSSI *et al.*, 2014).

A capacidade de adaptação à variação das condições ambientais das microalgas conferem a estes organismos variados perfis metabólicos, que estão diretamente relacionados à forma em que as microalgas utilizam a luz solar e os substratos orgânicos e inorgânicos.

As microalgas fotoautotróficas utilizam a luz como fonte de energia para converter CO₂ em energia química através de reações fotossintéticas, neste caso a fonte de carbono pode ser fornecida em larga escala a partir de uma fonte pontual de emissão, podendo assim ser utilizada como recicladoras de gases. (CHEIRSILP & TORPEE, 2012 e DAVIS *et al.*, 2011).

As espécies heterotróficas utilizam apenas compostos orgânicos como fonte de carbono e energia, esta forma de desenvolvimento microalgal apresenta maior rendimento de biomassa e acumulação de lipídeos.

Algumas microalgas heterotróficas incolores podem assimilar carbono orgânico por osmotrofia ou fagocitose, outras como os gêneros *Chlorella* e *Scenedesmus*, têm a capacidade de alterar seu metabolismo dependendo das condições ambientais (GARAY *et al.*, 2014, OTA *et al.*, 2011 e GIM *et al.*, 2014).

No perfil chamado mixotrófico, o desenvolvimento da biomassa pode ser considerado uma variação do regime heterotrófico, onde simultaneamente operam a respiração e a fotossíntese na assimilação de CO₂ e compostos orgânicos. A diferença é que no metabolismo fotoautotrófico a luz é a única fornecedora de energia para o aproveitamento dos compostos orgânicos, enquanto que no mixotrófico além da luz outras vias podem ser utilizadas para este fim (LI *et al.*, 2014 e WANG *et al.*, 2014).

Por necessitar menos da presença de luz este perfil metabólico apresenta altas taxas de produção, sendo assim mais indicado para os mais diversos fins, principalmente para remoção de CO₂ e tratamento de águas residuárias (ADESANYA *et al.*, 2014).

A utilização das microalgas na produção de biocombustíveis dentre outros bioprodutos tem sido estudada com maior frequência nos últimos anos no mundo inteiro, devido sua capacidade de conversão de energia e produção de biomassa em tempo e espaço reduzido, além disso, microalgas requerem para o seu crescimento apenas luz, açúcares, CO₂,

Nitrogênio, Fósforo e Potássio, a partir dos quais sintetizam grandes quantidades de lipídios, proteínas e carboidratos que podem ser convertidos e processados em biocombustíveis (DEMIRBAS, 2011) e produtos químicos de elevado valor (ABDELAZIZ *et al.*, 2014; RAWAT *et al.*, 2011 e PACHECO *et al.*, 2015).

Alguns estudos apontam a utilização de microalgas como remediação de águas residuárias, outros indicam a utilização de efluentes ricos em matéria orgânica como fonte para produção de biomassa de microalgas.

A capacidade de biossorção, a fonte de biomassa e produção de energia com baixo custo de aplicação e operação são alguns dos motivos pelo qual as microalgas têm sido utilizadas, principalmente na produção de bioenergia. (MEZZOMO *et al.*, 2010; QUINTELAS *et al.*, 2008; MÓDENES *et al.*, 2009 ; DAS *et al.*, 2008, JACOB-LOPEZ *et al.*, 2008; ABDEL-RAOUF *et al.*, 2012).

Assim, o desenvolvimento de clorofila por quantidade dos agentes eutrofizantes formados, bem como a forma mais adequada da separação de fases das microalgas, passa a ser investigada intensivamente a partir da década de 90.

Yadala e Cremaschi (2014) investigaram a maior geração de microalgas em reatores tipo coluna, placas, sistemas tubulares. Já de-Bashan e Bashan (2010) investigaram microesferas e placas de materiais inertes de polímeros sintéticos, filtros de papel, flóculos de caseína e glutaraldeído, esponjas naturais, etc., para fixação e separação de fases das microalgas.

Apesar de promissora, há desvantagens para o emprego de microalgas no tratamento de efluentes. A proporção relativamente baixa na remoção de contaminantes, como fósforo, e o tempo de retenção mais longo nas estações de tratamento (dias em comparação com horas).

Tudo isso torna o tratamento biológico de águas residuárias, especialmente com microalgas, uma tecnologia nicho. Na melhor das hipóteses, de acordo com procedimentos operacionais atuais, esta tecnologia pode ser auxiliar, para ser combinado com outras tecnologias biológicas, químicas e físico-químicas (SANTIAGO, 2013).

3.4 Toxicidade em corpos d'água

Alguns testes são utilizados para mensurar, através de ensaios laboratoriais, a toxicidade de substâncias em efluentes urbanos, industriais e amostras ambientais (águas ou solos). Através destes testes, organismos são submetidos a diferentes concentrações de amostra e os efeitos tóxicos produzidos sobre eles são observados e quantificados.

No entanto, testes de toxicidade muitas vezes não permitem obter uma resposta absoluta sobre os riscos que uma determinada amostra possa representar para a população humana, uma vez que é relativamente difícil comparar os resultados de toxicidade obtidos para organismos-teste com o nível de toxicidade em uma população humana (COSTA *et al*, 2008).

Considerando-se os efeitos tóxicos que um agente pode causar à biota aquática, em diferentes níveis, recomenda-se a realização de testes com organismos que compreendam diferentes níveis tróficos da cadeia alimentar, selecionando organismos produtores, consumidores primários e consumidores secundários (DEZOTTI, 2008). Desta forma as espécies mais recomendadas para a realização dos ensaios são algas, microcrustáceos e peixes, abrangendo assim os três níveis tróficos.

Geralmente os ensaios com efluentes são realizados diluindo-se a amostra sucessivamente, simulando o seu efeito no corpo receptor, já que passará pelo processo de diluição após o descarte. Desta forma, os organismos-teste são expostos a estas diluições por períodos de tempo conforme estipulado pelo método de teste a ser realizado.

O resultado pode ser medido pela diminuição da fecundidade, imobilidade, redução do crescimento, mortalidade, entre outros. Os efeitos são analisados estatisticamente e os resultados são expressos em unidades numéricas, tais como concentração letal inicial mediana (CL50), concentração efetiva mediana (CE50), concentração de efeito não observado (CENO) e concentração de efeito observado (CEO) (OLIVEIRA, 2011).

De acordo com Dezotti, 2008 “O ambiente pode modificar a substância tóxica ou a resposta do organismo a esta substância; a substância tóxica pode afetar diretamente o organismo ou alterar o ambiente; o organismo pode modificar a substância tóxica ou o ambiente”.

Ainda, o mesmo autor diz que, os resultados dos ensaios de toxicidade são empregados para estimar a concentração segura, ou seja, que não causa danos ao ecossistema. Este por sua vez, leva ao estabelecimento de limites máximos para a presença do determinado poluente.

Ensaio toxicológico permitem detectar a toxicidade da amostra como um todo, avaliando os efeitos combinados dos diferentes constituintes da amostra, enquanto a análise química permite apenas quantificar as substâncias isoladas presentes em uma amostra.

A análise ecotoxicológica mede o tempo e os efeitos de diferentes concentrações de uma amostra em indivíduos de uma determinada espécie. Estes testes podem ser agudos ou crônicos, dependendo de sua duração e do efeito observado.

Os chamados organismos-teste são universalmente utilizados em testes de qualidade da água tornando estes estudos mais eficazes na detecção de efeitos deletérios em organismos vivos. Por integrar ações antropogênicas e influências naturais, a informação proveniente do uso de bioindicadores oferece uma avaliação mais refinada da qualidade da água do que apenas as medidas físicas e químicas utilizadas isoladamente (LOBO *et al*, 2014).

Rodrigues (2013) destaca o uso da *Lactuca sativa* para ensaios de fitotoxicidade e citogenotoxicidade de efluentes urbanos e industriais, índices de germinação e crescimento são medidos e quantificados para determinar os efeitos deletérios no organismo-teste.

Como citado anteriormente, os testes referentes a índices de toxicidade devem ser realizados em diferentes níveis tróficos, a fitotoxicidade analisa as reações em organismos classificados como produtores, neste caso a *Lactuca sativa* é um dos organismos-teste mais utilizados em pesquisas de qualidade da água.

Para avaliação dos efeitos no segundo nível trófico (Consumidores primários), o organismo-teste mais utilizado é a *Daphnia magna*, os chamados ensaios ecotoxicológicos são frequentemente desenvolvidos no monitoramento da qualidade de corpos d'água. O termo geral "monitoramento da qualidade da água" inclui tanto o monitoramento físico e químico quanto o monitoramento biológico.

A partir desses dois enfoques, o monitoramento biológico destaca-se basicamente em função de dois importantes argumentos: inicialmente, os organismos apresentam uma resposta integrada ao seu ambiente, e segundo, se o que interessa é manter comunidades biológicas saudáveis, é muito mais apropriado monitorar as comunidades aquáticas do que somente as variáveis físicas e químicas (LOBO e CALLEGARO, 2000).

Ensaio de Genotoxicidade são utilizados como métodos de averiguação de bioacumulação de agentes tóxicos presentes em corpos d'água, geralmente metais pesados, os efeitos que podem causar danos ao DNA, que podem ser reversíveis ou irreversíveis.

Testes que avaliam alterações no DNA são baseados no potencial de lesões pré-mutagênicas, como adutos de DNA, modificações de bases nitrogenadas, *crosslinks* DNA-DNA, DNA-proteínas e quebras na fita de DNA (FRENZILLI, 2009). Essas lesões são passíveis de correção, e não trazem maiores consequências ao organismo se forem reparadas de forma correta.

Entretanto, se isso não acontecer, tais quebras dão chances para as aberrações cromossômicas, que podem acarretar morte celular, e levar a condições fisiopatológicas severas (JHA, 2008).

O Ensaio Cometa tem sido recomendado para o biomonitoramento ambiental por ser um teste realizado em células individuais não proliferativas, além de ser uma técnica rápida e sensível. Adicionalmente, apresenta bons resultados a partir de um pequeno número de células analisadas (DA SILVA, 2003).

O Cometa pode ser utilizado para avaliar o impacto antrópico no ambiente, a genotoxicidade de medicamentos, de extratos de plantas, e de diversos efluentes, já que é capaz de detectar danos no DNA induzidos por agentes alquilantes, intercalantes e oxidantes (VILLELA *et al.*, 2003).

3.5 Sistemas integrados

Com a crescente contaminação das águas superficiais por meios antrópicos e o consequente aumento das doenças que possuem vinculação hídrica, torna-se imprescindível o gerenciamento integrado dos corpos d'água, uma vez que, o rápido desenvolvimento econômico, a industrialização e o aumento da poluição impõem riscos graves à disponibilidade e à qualidade dos recursos hídricos em escala global (ABDEL-RAOUF *et al.*, 2012).

Frente a esta realidade faz-se necessário o desenvolvimento de tecnologias capazes de recuperar a qualidade das águas residuárias para minimizar a toxicidade dos efluentes antes da disposição nos corpos receptores (HERNANDO *et al.*, 2005; CUNHA, 2006).

A integração de sistemas de tratamento de águas residuárias vem sendo estudada com a intenção de minimizar custos operacionais e promover a remoção dos agentes eutrofizantes de maneira mais eficaz através de tecnologias limpas. A utilização dos *Wetlands* Construídos como polimento final após um pré-tratamento por reatores anaeróbios é bastante discutido na literatura podendo ser citada como exemplo de tecnologia limpa (ROUSSEAU, 2006; VON SPERLING, 2005 e RAI *et al.*, 2013).

Os *Wetlands* Construídos surgem como uma das alternativas favoráveis do ponto de vista de operação, implantação e eficiência no tratamento secundário de efluentes sanitários e industriais, tornando-se assim de fácil aplicação principalmente em países em desenvolvimento (VYMAZAL, 2008 e WU *et al.*, 2015).

Nestes sistemas pode ocorrer uma variedade de processos de remoção de poluentes (como por exemplo: decantação; filtração, adsorção, absorção, precipitação, volatilização, etc.) geralmente sendo influenciado direta ou indiretamente pelas variáveis ambientais, como temperatura, disponibilidade de oxigênio dissolvido, fonte de carbono orgânico, pH,

estratégias de operação, etc.(CALHEIROS *et al*, 2009 ; . CHEN *et al* . , 2011; SAEED e SUN , 2012; MENG *et al* . , 2014).

No entanto, dadas as normas cada vez mais rígidas de qualidade da água para tratamentos de águas residuais e reuso de água em todo o mundo, WCs ainda tem algumas limitações , e mais trabalhos de pesquisa e desenvolvimento são necessários (WU *et al*, 2015).

A utilização de microalgas como polimento de águas residuárias não é uma prática recente, este tipo de tratamento já é disseminado há bastante tempo, através das chamadas lagoas de estabilização. Estas promovem o tratamento das águas residuárias via interação ecológica entre microalgas e bactérias. A fotossíntese promovida pelas algas produz O₂ garantindo a degradação da matéria orgânica pelas bactérias heterotróficas, em contrapartida, o CO₂ proveniente desta oxidação e os nutrientes são assimilados pelas microalgas (SANTIAGO, 2013 e LANANAN, 2014).

4. METODOLOGIA

A presente pesquisa foi realizada durante o período de um ano, propondo todas as etapas pertinentes ao desenvolvimento do sistema integrado bem como as respectivas análises dos parâmetros de controle operacional. O delineamento da pesquisa pode ser observado na Figura 3.

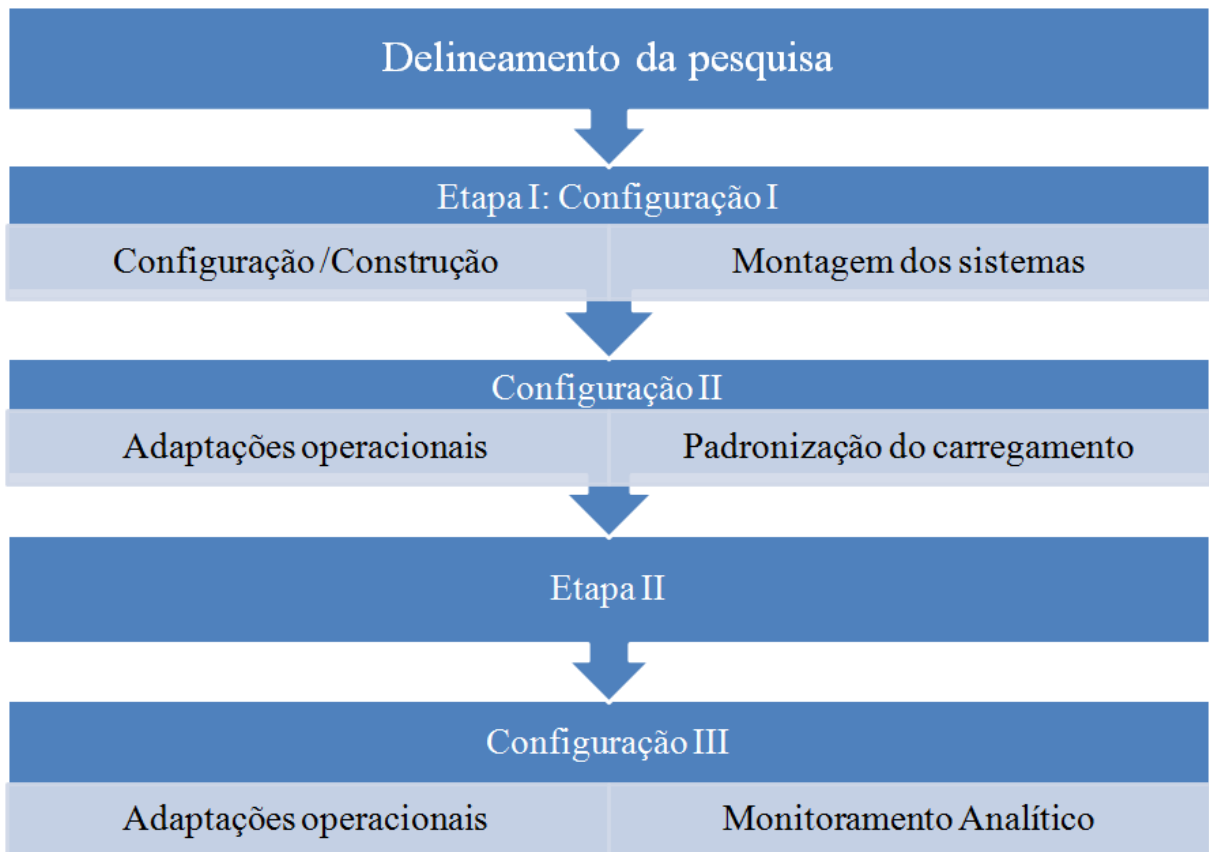


Figura 3: Detalhes do desenvolvimento do projeto piloto.

4.1 Caracterização do local de estudo

O projeto piloto foi desenvolvido junto a Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) do campus UNISC - Universidade de Santa Cruz do Sul, RS.

O efluente drenado para tratamento na ETE é proveniente dos mictórios e sanitários, uma vez que os restaurantes possuem caixas separadoras de graxas e óleos com encaminhamento posterior a ETE.

Outros resíduos como os utilizados nos laboratórios são coletados e segregados para posterior encaminhamento para Central de Tratamento de Resíduos (CETER).

A estação possui sete etapas de tratamento compostas por: gradeamento, desarenador, tanque equalizador, reator anaeróbio de fluxo ascendente de manta de lodo (UASB), biofiltro aerado, decantador e leito de secagem de lodo.

A vazão média de operação da estação foi estimada em $103,2 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ após o tratamento o efluente é encaminhado para a rede municipal de coleta, e acaba por ser descartado indiretamente por galerias e canal pluvial municipal, no Arroio Lajeado que apresenta uma vazão média de $588,2 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ (DUPONT, 2010).

Na Figura 4 está representada uma ilustração detalhada do funcionamento da ETE UNISC e os experimentos com os *Wetlands* Construídos e sistema integrado em desenho esquemático.

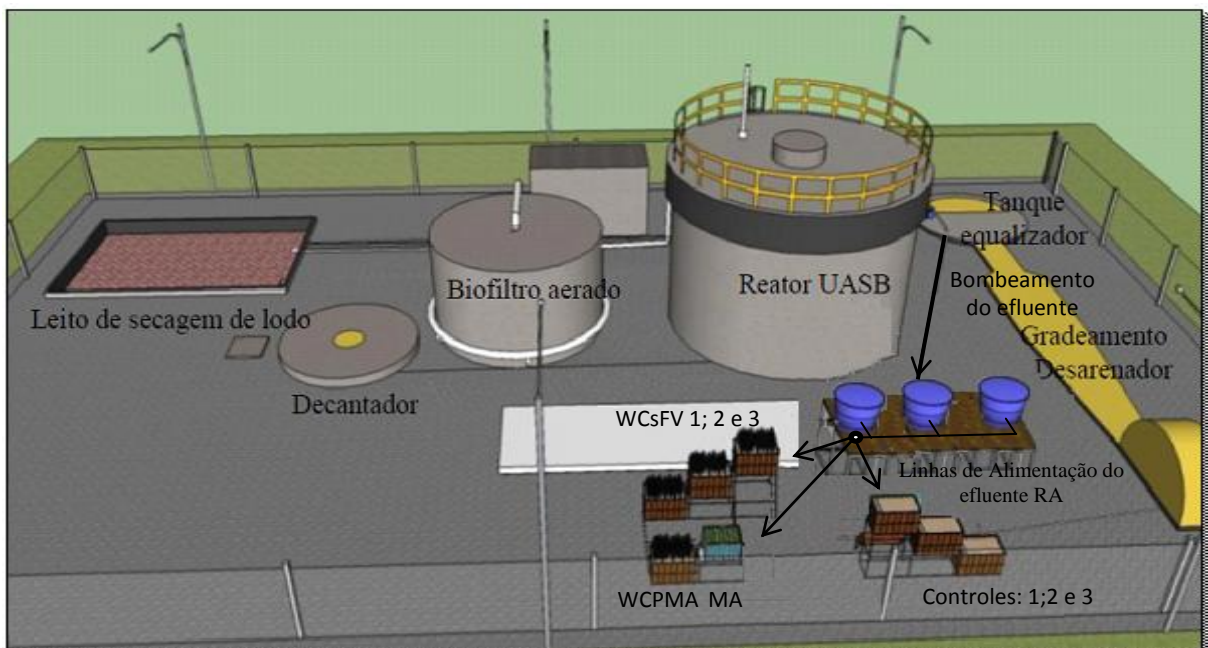


Figura 4: Etapas de tratamento da ETE UNISC e localização do experimento com os *Wetlands* construídos e sistema integrado RA+MA+WCPMA. (Fonte: Adaptado de HORN, 2011).

4.2 Configuração e montagem dos sistemas operacionais.

O estudo foi desenvolvido em duas etapas nas quais ocorreram variações de configuração dos sistemas.

A primeira etapa (ETAPA I) consistiu na configuração e montagem do sistema integrado Microalgas+Wetlands Construídos (Configuração I), na qual foi desenvolvido e construído sistema para proliferação de microalgas a partir de efluente pós-tanque equalizador

da ETE, um sistema composto por uma caixa de 200 litros de volume, com cone de acrílico em forma de pirâmide.

No ápice do cone uma estrutura de canos de PVC integrado com uma mangueira conectada a uma bomba submersa de recirculação de 110 W com potência de deslocamento de $1,5 \text{ m h}^{-1}$ de coluna d'água, alimentada por célula fotovoltaica (Figura 5):



Figura 5: Sistema de tratamento com recirculação do tipo cone (A), célula fotovoltaica (B).

Logo após a montagem, foi introduzido o efluente no sistema com o cone e a caixa de proliferação, uma vez ligada à bomba de recirculação o sistema teve seu início sem inoculação de cepas selvagens ou comerciais de microalgas.

Após uma semana de atividade o conteúdo da caixa apresentava coloração verde, indicando a presença de microalgas. Assim, após o período de aclimação, o sistema passou a receber o efluente a cada três dias, com controle analítico dos parâmetros sendo realizada neste intervalo.

A Figura 6 ilustra como foi desenvolvida a Etapa I do projeto piloto, um fluxograma demonstrativo que representa a ETE e o sistema integrado Microalgas + *Wetlands* Construídos.

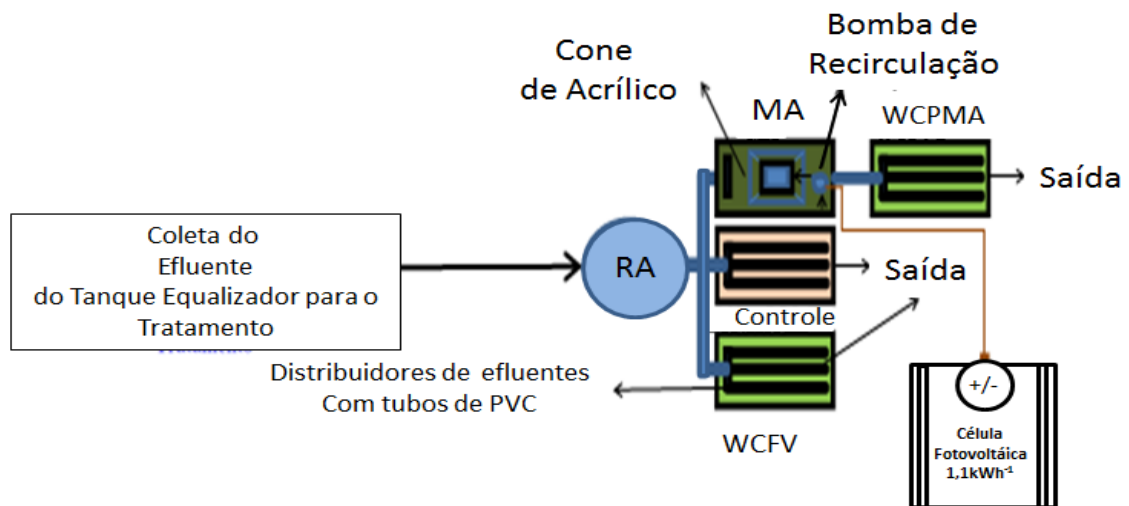


Figura 6: Fluxograma ilustrativo da ETE UNISC e o sistema integrado desenvolvido inicialmente na Etapa I.

* **RA**= Reator Anaeróbio; **MA**= Microalgas; **WCPMA**= *Wetlands* Construídos Pós-Microalgas; **CONTROLE**= Filtro testemunha; e **WCFV** = *Wetlands* Construído Fluxo Vertical.

Para os *Wetlands*, foi utilizada uma caixa de 200 litros, que teve seu conteúdo preenchido com brita nº 4 e nº 1, areia e logo em seguida foram plantadas as macrófitas emergentes, neste caso utilizou-se a *Hymenachne grumosa*.

Para configuração e implantação do projeto piloto e desenvolvimento do sistema integrado *Microalgas+Wetlands* Construído de Fluxo Vertical Sub-superficial (MA+WCFVSS), foram utilizados como comparação de desempenho dois sistemas adicionais: um com WCFVSS e outro contendo areia e brita conhecido por “filtro testemunha”, denominado neste estudo de Controle (C).

O sistema integrado MA+WCPMA foi formado por uma caixa para proliferação de Microalgas (MA) de 200L de cor marrom e outra caixa de acrílico transparente com capacidade de 20L, com uma bomba submersa para recirculação em reator tipo coluna com 20L de capacidade média.

O sistema chamado de *Wetlands* Construídos de Fluxo Vertical Subsuperficial (WCFVSS), foi configurado com três caixas sequenciais de 200L cada, preenchidas com britas nº 4 e nº 1, areia e a macrófita aquática emergente *Hymenachne grumosa*.

Os compartimentos foram constituídos por caixas plásticas de polietileno de alta densidade (PEAD) com formato retangular (92 cm de comprimento; 55 cm de largura; 58,5 cm de altura).

Entre as caixas de cada uma das configurações há uma distância de aproximadamente 5 cm onde um cano de PVC de 0,5 polegadas e mangueira plástica flexível foram instalados

para a manutenção do fluxo subsuperficial das caixas, sendo este mantido a 37cm de altura (Figura 7).



Figura 7: Foto ilustrativa destacando o cano de 0,5 polegadas e a mangueira flexível conectando os compartimentos. (Fonte: HORN, 2011).

Os WCs foram dispostos sobre uma estrutura metálica na forma de degraus de escada, estando à caixa inicial de cada sistema a 1,4 m do chão; a caixa intermediária a 75 cm do chão e a caixa final a 10 cm do chão (Figura 8).



Figura 8: Representação dos *Wetlands* construídos à direita e o sistema “Testemunha” (Controle - C) à esquerda.

A carga dos sistemas foi realizada a cada três dias, com um balde de 15L de volume, em conjunto da coleta das amostras para as análises, com efluente retirado do equalizador da ETE, carregado com 90L na primeira caixa de cada sistema, esses 90L foram retirados do Efluente Bruto (EB) logo após a saída do equalizador.

O sistema foi operado em regime de batelada considerando o Tempo de Detenção Hidráulica (TDH) de 3 dias, os WCFVS foram alimentados durante 1 hora com 90L do efluente proveniente do tanque equalizador.

Para o sistema MA foram alimentados 90L, também a cada 3 dias, sendo que o WCFV 2 sequencial recebeu efluente do pré tratamento com as microalgas após 3 dias de recirculação, também com abastecimento dos mesmos 90L que o WCFV 1. O compartimento dos WCFV tem $0,560 \text{ m}^2$.

Durante o período de operação da configuração I, a alimentação dos sistemas passou a ser realizada com efluente pós UASB (Reator Anaeróbio de Manta de Fluxo Ascendente), pouco depois as alterações de sistema foram realizadas resultando na configuração II.

Na configuração I, os parâmetros físico-químicos foram analisados durante o período que envolveu a montagem e o início do processo de monitoramento durante a operação dos sistemas, que ocorreu entre o período de dezembro de 2014 até março de 2015.

Os parâmetros analisados para caracterização do efluente bruto e pós-tratamento foram, DBO_5 , Nitrogênio Amoniacal, Fósforo Total, DQO, Condutividade, pH, Cor Absorciométrica e Turbidez.

A referência de controle das microalgas foi baseada na Densidade Óptica (OD) de 686 nanômetros (nm) conforme Lananan (2014), sendo para a cor predominante dos sistemas comparativos (WCFV e Controle) com 420 nm. Exceto o controle de cores absorciométricas, todos os demais parâmetros foram referenciados com o *Standard Methods*, 2005 e 2012.

A identificação das microalgas foi realizada através de microscopia óptica nos aumentos de 100x e 1.000x no laboratório de limnologia da UNISC, com amostras retiradas do sistema integrado MA+WCFV, após um período de aproximadamente 2 meses de funcionamento.

Após a observação por microscopia, os gêneros foram identificados através de chaves de identificação de microalgas da classe *Chlorophyceae* (BICUDO & MENEZES, 2006).

4.3 Caracterização das macrófitas aquáticas

A espécie *Hymenachne grumosa* foi a macrófita escolhida para ser utilizada nos WCs, por ser esta planta muito comum nos campos sulinos e geralmente utilizada como alimento animal.

A escolha desta espécie ocorreu devida sua produção de biomassa e seu histórico de bons resultados na redução dos parâmetros físico-químicos (SILVEIRA, 2010).

Esta espécie ocorre naturalmente em várzeas que recebem água proveniente de plantações de arroz, estes corpos d'água têm como característica alta concentração de agentes eutrofizantes.

Sendo assim, esta macrófita apresenta uma capacidade de adaptação a este tipo de afluente, além de possuírem raízes bastante profundas ampliando sua eficiência na remoção de poluentes (Figura 9):



Figura 9: Raízes de *Hymenachne grumosa* (A); ocorrência natural da espécie característica dos campos sulinos (B).

A quantificação da biomassa gerada a cada três meses foi realizada a partir da determinação da coleta (poda) a uma altura de 0,10 m acima da superfície do meio suporte dos *Wetlands* Construídos. A massa verde foi encaminhada para pesagem em balança granatária e, logo após, submetida a 65°C em estufa bacteriológica até atingir massa seca com peso constante.

4.4 Ajustes dos sistemas: Configuração II, Etapa I

A configuração II teve como principal alteração a forma de abastecimento do afluentes nos sistemas, além de que nesta configuração, foi criado um Reator Anaeróbio (RA) que passou a ser utilizado para o abastecimento do sistema integrado e seus comparativos.

O Reator Anaeróbio (RA) foi configurado por uma bombona de 220L colocada em uma estrutura metálica reforçada para suportar o peso.

O afluentes passou a ser coletado do tanque equalizador, para isso foi instalado uma bomba centrífuga de 1 HP submersa para deslocar o Efluente Bruto (EB) do tanque equalizador, conectada ao RA através de uma mangueira polietileno reforçada de 2 polegadas.

Em seguida, instalou-se um sistema elétrico para que fosse acionada sempre que necessário.

Por fim, um hidrômetro para determinação da vazão foi colocado na saída do RA, conectado a uma mangueira de polietileno de coloração avermelhada de ½ polegada para padronizar o abastecimento dos sistemas de monitoramento.



Figura 10: Hidrômetro para controle de vazão e ajustes do abastecimento dos sistemas de monitoramento.

Desta forma, na configuração II, o sistema passou a ser alimentado a partir do efluente pré-tratado no RA, com um TDH de três dias.

Através da mangueira acoplada junto a saída do RA, o abastecimento foi realizado nos mesmos moldes do relatado anteriormente na configuração I, com exceção do sistema integrado que passou a receber 30L a cada três dias e não mais 90.

O mesmo procedimento foi adotado no carregamento da caixa com o *Wetlands* Construído Pós-Microalgas (WCPMA) que continuou recebendo efluente das MA através do balde. No tanque das microalgas renovavam-se 30 litros a cada três dias, mantendo assim um volume de partida para que as microalgas mantivessem sempre um crescimento, evitando a mortandade das colônias.

Outra alteração importante na configuração II foi a remoção da caixa transparente de acrílico para ploriferação das microalgas, passando-se a utilizar apenas a caixa onde se encontrava o cone, com recirculação por bomba submersa.

Durante este período, os parâmetros analisados foram os mesmos descritos durante a configuração I, DQO, DBO₅, Fósforo Total, Nitrogênio Amoniacal, Condutividade, etc.

4.5 Etapa II: Configuração III

A etapa II desenvolveu-se a partir do segundo semestre de 2015, onde algumas modificações foram realizadas com o objetivo de adequar questões referentes ao abastecimento dos sistemas, tanto o sistema integrado quanto os sistemas utilizados como comparativos de desempenho.

Nesta etapa II foi desenvolvida a configuração III (Configuração final), umas das principais modificações ocorreram, principalmente, na forma e na vazão com que os sistemas foram abastecidos.

Após desenvolvimento do RA de fluxo descendente, verificou-se que um recipiente apenas não era suficiente para abastecer todos os sistemas. Então, para suprir a necessidade foram adicionadas mais duas bombonas de 220L cada, interligadas entre si.

Para facilitar e diminuir os problemas de entupimento dos encanamentos foi instalado um dreno (expurgo) para remoção dos sólidos em suspensão que permaneciam nos canos antes de cada abastecimento.



Figura 11: Sistema de armazenamento e abastecimento RA, com controle de vazão e operação.

Após revisão da literatura foi decidido padronizar o abastecimento dos sistemas. Para tal foi desenvolvido um objeto na forma de um “garfo” (Sistema de Distribuição-SD) com canos de PVC de 0,5 polegadas, com comprimento e largura correspondentes as medidas das caixas de polietileno utilizadas.

Desta forma, os sistemas passaram a receber as cargas através da mangueira conectada ao RA, com SD de PVC conectado a outra extremidade da mangueira de abastecimento. Através do advento do hidrômetro, a vazão do efluente foi calculada e passou a ser monitorada e aplicada de forma mais lenta e homogênea reproduzindo as experiências descritas na literatura pesquisada (SILVEIRA, 2010; HORN, 2011 e DUPONT, 2010).

Outra modificação importante foi a troca da bomba submersa de recirculação da caixa contendo as microalgas, nesta configuração a bomba passou a ser alimentada por energia elétrica e não mais por célula fotovoltaica, a bomba submersa utilizada foi de 220V- 60 Hz, com vazão (Q) de $400/1000 \text{ L h}^{-1}$ 13 W- P:2,0 mca (Metros de Coluna de Água).

A partir das modificações realizadas nos sistemas durante a etapa II, configuração III, os parâmetros físico-químicos do afluente e efluente foram analisados no Laboratório de Tecnologia e Tratamento de Águas e Efluentes (LATTAE) da UNISC, exceto Nitrato e Nitrito que foram analisados na Central Analítica da UNISC via contratação de serviços, utilizando-se os métodos descritos na Tabela 2.

Tabela 2: Métodos analíticos para caracterização do efluente bruto e efluentes tratados nos sistemas estudados (configuração III).

Parâmetros	Método	Fonte
pH	Potenciométrico	APHA/AWWA, 2005
Condutividade	Eletroquímico	APHA/AWWA, 2005
Turbidez	Método ótico	APHA/AWWA, 2005
DQO	Colorimétrico/Titulométrico	APHA/AWWA, 2005
DBO ₅	Método de Winkler/Titulométrico	APHA/AWWA, 2005
Fósforo Total	Colorimétrico/Molibdato de Amônio	APHA/AWWA, 2005
Nitrogênio Amoniacal	Destilação/Titulométrico	APHA/AWWA, 2005
Ecotoxicidade	Exposição de org. teste/ <i>Daphnia magna</i>	ABNT 12.713, 2004
Espectrofotometria (λ 420nm)	Colorimétrico	APHA/AWWA, 2005
NTK	Digestão ácida	APHA/AWWA, 2005
Nitrito	Espectrofotométrico	APHA/AWWA, 2012
Nitrato	Colorimetria/Ácido Fenoldissulfônico	APHA/AWWA, 2012
Coliformes totais	Placas Petrifilm \square 3M [®]	AOAC, 2000
<i>Escherichia coli</i>	Placas Petrifilm \square 3M [®]	AOAC, 2000
Genotoxicidade <i>A. cepa</i> *	Ensaio Cometa (Org.Vegetal)	NAVARETTE <i>et al.</i> , 1996 e SAGHRZADEH <i>et al.</i> , 2008
Genotoxicidade <i>D. magna</i> *	Ensaio Cometa (Microcrustáceo)	SCHNEIDER <i>et al.</i> , 2009
Fitotoxicidade <i>L. sativa</i> *	Exposição de org. teste/ <i>Lactuca sativa</i>	SOBRERO & RONCO (2004)

* Adaptado das literaturas citadas.

As amostras foram obtidas após o TDH de três dias, coletadas antes do carregamento dos sistemas e analisadas na sequência, garantindo assim o pareamento das amostragens. Os pontos de coleta foram divididos conforme ilustrado na Figura .

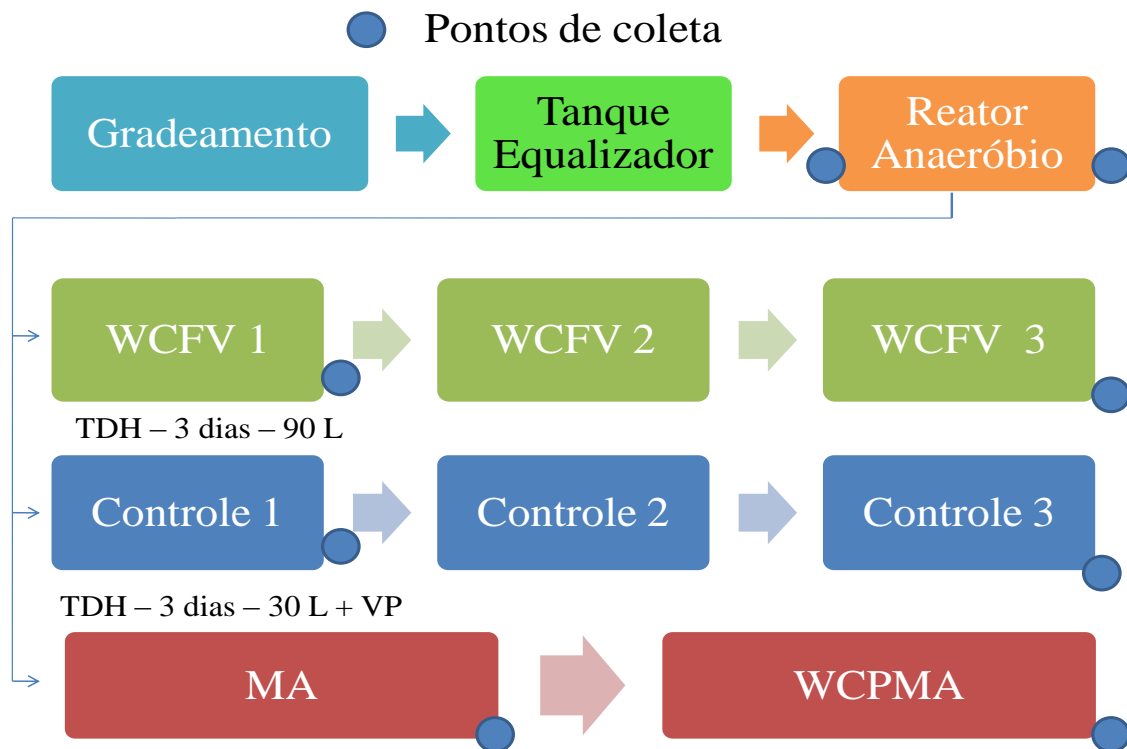


Figura 12: Fluxograma indicando os pontos de coleta das amostras após a adoção da Configuração II.

* **RA**= Reator Anaeróbico; **MA**= Microalgas; **WCPMA**= *Wetlands* Construídos Pós-Microalgas; **CONTROLE**= Filtro testemunha; e **WCFV** = *Wetlands* Construído Fluxo Vertical 1 e 3; **TDH**= Tempo de Detenção Hidráulica; **VP**= Volume de Partida.

Dependendo da necessidade, as amostras foram preservadas de acordo com as recomendações de cada método.

As amostras foram coletadas em frascos de polietileno de 1L, logo após a coleta estes foram levados até o LATTAE e as análises realizadas.

Com exceção do Fósforo Total, que foi medido com diferentes métodos entre a configuração II e a III, todos os demais parâmetros foram analisados de acordo com a Tabela 2.

O Fósforo Total foi analisado através do método tartarato de potássio, em um primeiro momento por espectrofotometria sem digestão ácida, já no restante da pesquisa, mais precisamente a partir de agosto de 2015, as análises passaram por digestão ácida antes das etapas seguintes.

A determinação de *Escherichia coli* e coliformes totais foram realizadas no LATTAE da UNISC, sendo utilizado o protocolo Petrifilm 3M® para a contagem destes parâmetros que se baseiam na coloração e formação de gás das colônias de bactérias (AOAC, 2000).

4.6 Ensaios de Fitotoxicidade

Os ensaios referentes à análise de fitotoxicidade foram realizados com sementes de alface, de acordo com os métodos propostos por Sobrero & Ronco (2004). Os testes consistiam em expor sementes a amostras ambientais, diluídas ou não, por um período de 120 horas, em ausência de luz e temperatura controlada ($20^{\circ}\text{C} \pm 1$).

Após este período de exposição, diferentes respostas são registradas, tais como: percentual de inibição de germinação, percentual de inibição de crescimento, cálculos de índices estatísticos (IC 25, IC 50).

As sementes de alface utilizadas neste trabalho foram de mesma variedade e lote (*Lactuca sativa* variedade Manteiga, ISLA PRO), ausentes de qualquer tipo de tratamento químico. Este controle permite que influências de variabilidade genética e fisiológica sejam menos pronunciadas, aumentando a confiabilidade de resposta do organismo teste frente aos ensaios.

Os testes foram executados junto ao LATTAE em placas de petri de 100 mm de diâmetros forradas com papel filtro (do tipo Whatman nº3, com 90 mm de diâmetro) e saturadas com a amostra a ser avaliada (4 mL de amostra por placa). Cada placa de petri foi identificada com o tipo de tratamento avaliado e a data do início e final do ensaio.

A saturação do papel filtro com a amostra de efluente foi feita de forma cuidadosa para evitar formação de bolhas de ar entre o fundo da placa e do papel filtro.

Após a saturação, com auxílio de uma pinça, as sementes de alface foram dispostas e acondicionadas no papel filtro saturado, de modo que houvesse espaço suficiente entre elas para permitir o crescimento das raízes.

As placas foram então tampadas e cobertas com filme plástico do tipo PVC, evitando assim eventual perda de umidade no decorrer do teste, na sequência incubadas por um período de 5 dias (120 horas) a uma temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}$.

As análises foram realizadas em triplicata, em placas de Petry, diluídas em 50% com água deionizada também em triplicata, além do controle negativo com água deionizada com pH neutro. Após o período de exposição dos testes, as respostas de avaliação foram registradas quantificando os números de sementes que germinaram e o tamanho de suas raízes foi medido sobre papel milimetrado para determinar a taxa de germinação e alongamento das raízes.

O índice de germinação foi calculado através do registro de sementes que germinaram normalmente, considerando como critério, o aparecimento efetivo da raiz.

A inibição de crescimento foi determinada através das medidas do comprimento total, comprimento do hipocótilo (região localizada abaixo dos cotilédones até o nó, uma região mais grossa entre o hipocótilo e a radícula) e radícula (região abaixo do nó que se estende até o final da raiz) dos indivíduos e sua diferença percentual em relação ao comprimento, mensurado nos indivíduos presentes no controle negativo.

Na Figura 13 é possível observar a disposição detalhada dos ensaios de fitotoxicidade realizados no experimento com *L. sativa*:

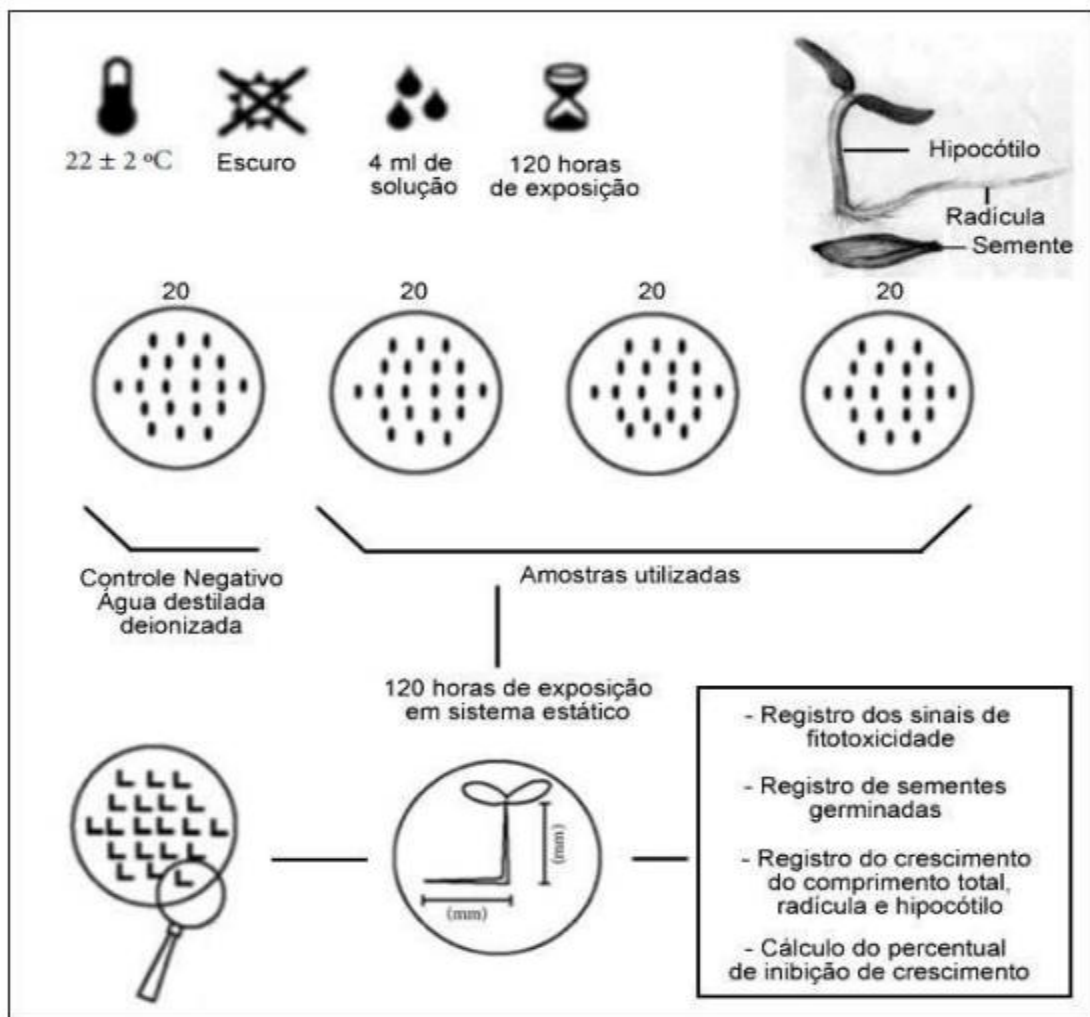


Figura 13: Ilustração do método de ensaio de fitotoxicidade com sementes de *Lactuca sativa*. (Fonte: Adaptado de Sobrero & Ronco, 2004).

4.7 Metodologia de Cultivo e Teste (*Daphnia magna*)

O gênero *Daphnia*, também conhecido como “pulga d’água” (Figura 14), é um microcrustáceo frequentemente encontrado em lagos e represas de água continentais do hemisfério norte.

Segundo Ruppert e Barnes (1996) *Daphnia magna* é classificado taxonomicamente no filo *Artropode*, subfilo *Crustacea*, classe *Branchiopoda*, ordem *Diplostraca*, subordem *Cladocera*. Compõem o zooplâncton como consumidor primário, fazendo a ligação entre os níveis inferiores e superiores da cadeia alimentar.

Daphnia magna apresenta características que são fundamentais para sua utilização como organismo teste, dentre as quais podemos destacar: os descendentes são geneticamente idênticos, assegurando uma uniformidade de respostas nos ensaios; cultura padronizada; manuseio simples; sensível à ampla gama de agentes nocivos; curto ciclo de vida e de reprodução.

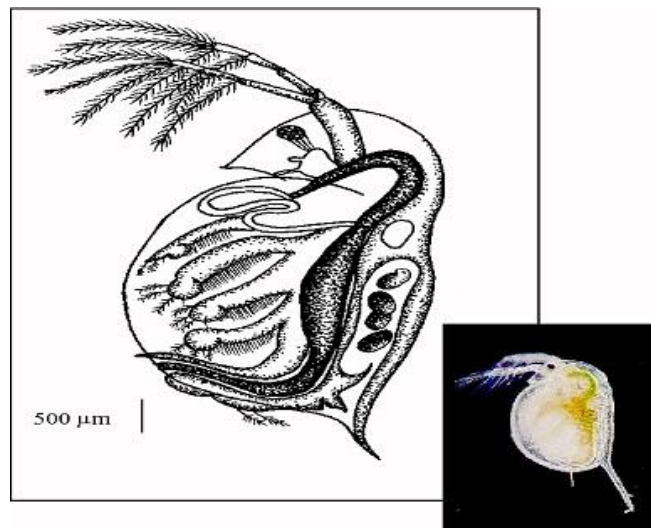


Figura 14: Organismo teste *Daphnia magna* Straus (1820).

A presente pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Ecotoxicologia da Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC. Os procedimentos da rotina de cultivo e testes para *Daphnia magna* seguiram a norma ABNT 12713 (2009). O cultivo foi realizado em 10 lotes, utilizando copo de Becker de 2L, cada um contendo 1,5 L de meio de cultura (meio M4), que é preparado com água destilada/deionizada e nutriente. O meio fica sob aeração por um período de 12h, após tem o pH ajustado entre 7,0 e 8,0. Cada lote comporta aproximadamente 30 indivíduos. As fêmeas se reproduzem por partenogênese, o que garante a uniformidade de resposta dos ensaios. Os organismos são mantidos em germinadora de cultivo, em fotoperíodo de 16 horas luz em uma temperatura de 20 ± 2 °C.



Figura 15: Incubadora de cultivo de organismos teste.

Para cada ensaio realizado utilizaram-se 05 diluições mais um controle negativo (somente água de diluição). As diluições (solução teste) foram preparadas com precisão volumétrica, em progressão geométrica de razão $\frac{1}{2}$. Para cada tubo de ensaio foi colocado de 10 a 15 mL da diluição, sendo que para cada diluição, utilizaram-se 10 réplicas, sendo um organismo disposto em cada tubo de ensaio. Exemplificando, um teste pode constituir-se das seguintes diluições: 100%, 50%, 25%, 12,5%, e 6,25% da amostra, além do controle. Para cada diluição foi utilizado 50 mL da amostra, distribuída em dois Beckers de 50 mL. Em cada Becker foram colocados 10 organismos, totalizando 20 organismos por diluição da amostra. No controle foi utilizado o meio de cultura para teste (meio ISO), sendo aceito, no máximo, 10% de imobilidade no controle.

Baseando-se na imobilidade dos organismos testados foi calculada a porcentagem de imobilidade por concentrações e estimada a CE (I)50% 48h (Concentração Efetiva Inicial Mediana - concentração da amostra no início do ensaio que causa efeito agudo a 50% dos organismos em 48h, nas condições de ensaio) calculada utilizando o método estatístico Trimmed Spearman-Kärber Method (HAMILTON, 1979) para dados não paramétricos.

4.8 Processamento da Informação

A partir dos resultados das determinações da CE (I)50 48h foi utilizada uma escala de toxicidade relativa, conforme mostra a Tabela 3 (Lobo *et al.*, 2006).

Tabela 3: Escala de toxicidade relativa para CE(I) 50 48 h(%) com *Daphnia magna*.

Percentil	CE (I)50	Toxicidade relativa
25°	< 25%	Extremamente tóxica
50°	25 – 50%	Altamente tóxica
75°	50 – 70%	Medianamente tóxica
>75°		Pouco tóxica

4.9 Genotoxicidade com organismo teste vegetal *Allium cepa*

A exposição das sementes foi realizada em um total de 50 sementes de *Allium cepa* do tipo baia periforme (ISLA®), por placa de petri (100 x 15 mm), contendo papel filtro umedecido com 4 mL de água destilada (dH₂O) (Figura 16).

Em seguida, as placas foram acondicionadas em germinadora a 25° C durante sete dias, ao abrigo de luz visível e UV.

Passado o tempo de germinação as sementes foram selecionadas quanto germinação, acima de 1 cm de radícula.

As que obtiveram boa germinação foram à exposição aguda. Posteriormente as placas foram divididas em 7 grupos: controle negativo (CN – dH₂O); controle positivo (CP – 3 mg/L⁻¹ CuSO₄); 4 grupos de *float* (10%, 1%, 0,1% e 0,01%) e um grupo com exposição aguda (2h) com MMS (metil metano sulfonato).

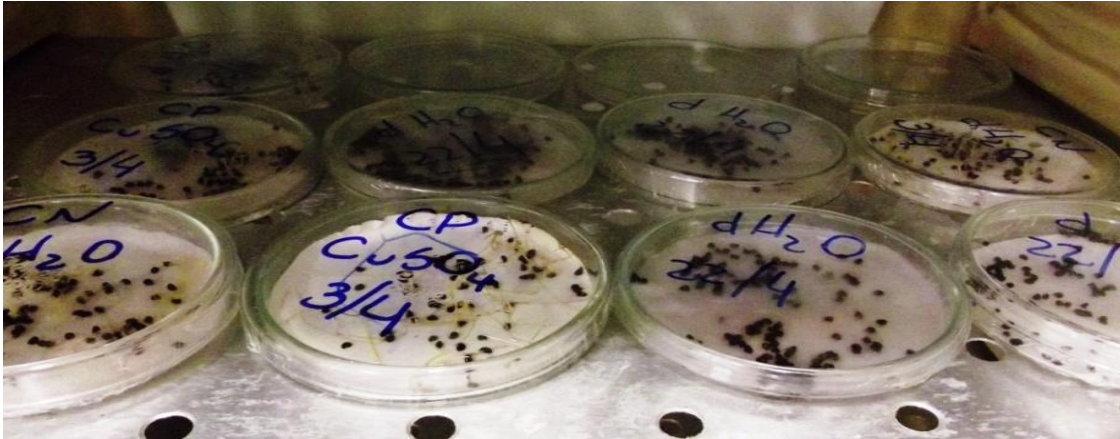


Figura 16: Sementes de *Allium cepa* expostas em placas de petri, na germinadora.

4.1.0 Obtenção de nucleóides para exposição

As radículas foram separadas inteiras da semente e postas diretamente dentro de microtubos contendo TRIS (pH fisiológico).

Em seguida as radículas foram cortadas de forma convencional, com o auxílio de lâmina e o pool de células posto novamente dentro de microtubos.

Logo após, radículas foram retiradas do microtubo, secas (com o auxílio de papel filtro) foram colocadas dentro de um gral, adicionou-se nitrogênio líquido e realizou-se uma leve maceração das raízes, com pistilo. Por fim, o pool de células foi colocado novamente dentro de microtubos.

4.1.1 Elaboração das lâminas *A. cepa*

Os microtubos contendo o pool de células foram centrifugados (3000RPM) a fim de concentrar as células. Posteriormente foi retirado 30 μ l da amostra e adicionado em 70 μ l de agarose baixo ponto de fusão, colocado em cima de lâmina e coberto com lamínula.

A solidificação da agarose ocorreu durante 10 minutos a 4° C. Em seguida as lamínulas foram retiradas de forma cuidadosa e adicionadas em cubetas verticais contendo solução de lise (2,5 M NaCl, 100 mM, Na₂EDTA, 10 mM TRIS, pH 10, 1% Triton X-100, 10% DMSO), nesta permaneceram por 1 h a 4°C.

Decorrido o tempo as lâminas foram retiradas das cubetas e postas em cuba contendo tampão alcalino (50 mM Na OH, 1mM Na₂EDTA; pH 12,5), onde ocorreu o desenovelamento por 15 minutos, em seguida a corrente de eletroforese (0,7 V/cm, 300 mA, 20 minutos) foi ligada.

A partir do núcleo fragmentos de DNA migram no sentido do anodo (polo positivo); quanto mais intensa for a indução de quebras, menores são os fragmentos e maior a extensão

de migração (formando assim a cauda do cometa; Figura 17). Após esta etapa as lâminas foram retiradas da cuba e neutralizadas (0,4 M TRIS, pH 7,5), em bandejas.

Após a secagem de um dia as lâminas foram fixadas, necessitando assim de mais um dia de secagem. Em seguida as lâminas foram coradas com solução de Nitrato de Prata.

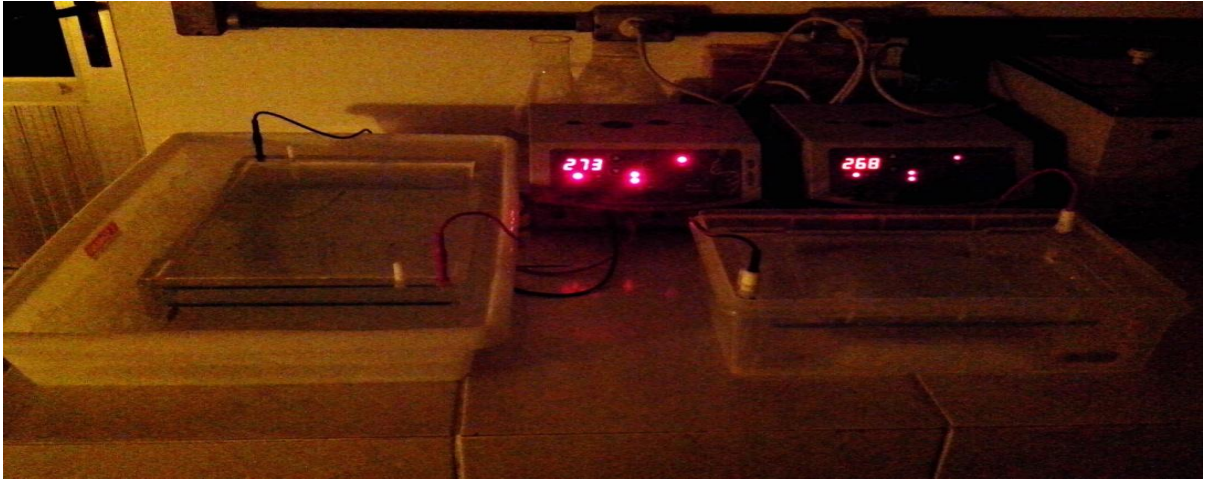


Figura 17: Lâminas submetidas à eletroforese.

4.1.2 Contagem dos nucleoides

As lâminas foram analisadas em microscopia convencional, contando 100 nucleoides por lâmina, sendo contabilizadas 5 lâminas por amostra. Totalizando 500 nucleoides por amostra. Os nucleoides foram classificados em cinco classes (0 a 4), conforme o dano (Figura 3).

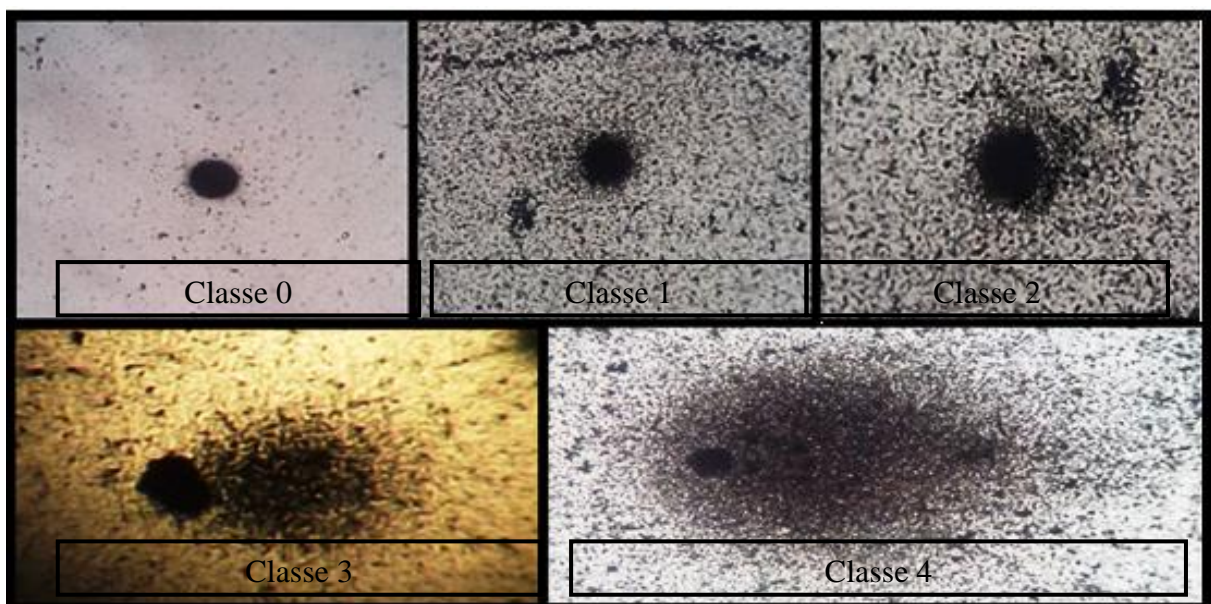


Figura 3: Nucleóides observados em microscopia óptica (400 x).

As lâminas são então analisadas em microscopia óptica convencional (aumento de 400x), para cada lâmina se contabiliza 100 nucleóides, totalizando 500 nucleóides por amostra.

Os nucleóides são quantificados e classificados em 5 tipos de danos (0, 1, 2, 3 e 4), quanto maior o dano maior o dígito correspondente, sendo a classe 0 destinada para nucleóides livres de dano.

Com a classificação dos nucleóides é possível obter dois tipos de informações o Índice de Dano (ID) e a Frequência de Dano (FD), ambos comparados ao Controle Negativo do teste (CN).

O ID corresponde ao total do resultado da multiplicação entre o dígito denominador de cada classe (0, 1, 2, 3 e 4) e o número de cometas de cada classe. Já a FD é calculada como a porcentagem de todos os cometas danificados (classe 1 até 4) em relação ao total de cometas contados.

4.1.3 Genotoxicidade com organismo teste *Daphnia magna* e elaboração das lâminas

Os ensaios cometa foram realizados a partir dos organismos utilizados nos testes de ecotoxicidade, sendo que a metodologia de cultivo, a obtenção dos indivíduos e exposição às amostras testadas seguem as descritas anteriormente no item 4.9.

Desta forma, após a exposição, os neonatos foram transferidos com o auxílio de pipetador automático e armazenados em solução contendo 850 µL de tampão fosfato salino (PBS com pH 7,4), 20 mM de ácido etileno diamino tetra-acético (EDTA) e 50 µL de Dimetilsulfóxido (DMSO).

Posteriormente o material foi macerado e centrifugado durante 10 minutos, a uma temperatura de 4°C e a velocidade de 2.100 rpm, sendo o sobrenadante removido e descartado. Em seguida, o material foi exposto em 5 lâminas pré-cobertas e acrescido de agarose, sendo 20 µL de material e 80 µL de agarose de baixo ponto de fusão, mantida aquecida a 37° C.

A suspensão celular juntamente com a agarose foi disposta sobre a lâmina e recoberta por lamínula. Após 10 minutos sobre a refrigeração retirou-se as lamínulas e as lâminas

foram submetidas a uma solução de lise por 1 hora, processo esse que consiste no rompimento das membranas, tanto a celular, quanto a nuclear, expondo assim o material genético.

Na sequência, inicia-se a eletroforese alcalina ($\text{pH} > 12$), para tal as lâminas foram submersas durante 15 minutos em tampão eletroforese para que ocorresse o desnovelamento do DNA. A seguir, deu-se seguimento a eletroforese ($0,7 \text{ V cm}^{-1}$; 300 mA) com duração de 20 minutos.

Terminada a eletroforese as lâminas são neutralizadas (Tris 0,4M), lavadas com água destilada e postas para secar naturalmente. Após são fixadas e secas novamente, para receberem a coloração a base de nitrato de prata.

4.1.4 Análise Estatística

Para análise estatística dos resultados foi utilizada a Análise de Variância (ANOVA) seguida de teste de Dunnett para múltiplas comparações em relação ao Controle Negativo (CN), considerando-se o nível de significância de 5% ($p < 0.05$). O programa estatístico utilizado foi o *software GgraphPad Prism 6.0*.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Caracterização do afluente da ETE-UNISC

A ETE da Universidade de Santa Cruz do Sul foi configurada para atender as demandas do efluente produzido pelo equivalente a 18.000 pessoas, aproximadamente, entre funcionários, estudantes e visitantes, sendo que a média de pessoas gira em torno de 12.000 dispostas nos três turnos de funcionamento da instituição, com maior fluxo no período noturno, desde 2006, quando teve início seu funcionamento, a ETE trabalha com vazão média de aproximadamente $103 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$, com registros de variação entre $129,6 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ e $57,6 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$, os picos de vazões geralmente ocorrem entre 12h e 17h (DUPONT, 2010 e HORN, 2011).

Os efluentes utilizados são classificados como efluentes urbanos domésticos por serem gerados nos sanitários do campus universitário, podendo ser considerado como águas negras e amarelas (PACHECO, 2015).

Tabela 4: Caracterização do afluente (EB) concentração média dos parâmetros de qualidade, quadro comparativo com as resoluções do CONSEMA/RS.

Parâmetros	Afluente (N=53)	Resolução CONSEMA/RS-128/06 e 129/06
	Média + DP	$100 \leq Q < 200 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$
P Total	7,71 \pm 2,48	-
DQO	646,08 \pm 230,9	≤ 330
DBO⁵	526,35 \pm 177	≤ 120
N-NH³	68,84 \pm 25,65	≤ 20
Turbidez	187,54 \pm 78,12	-
pH	7,72 \pm 0,37	Entre 6,0 e 9,0
Condutividade	1005,17 \pm 259,2	-
Cor absorciométrica	0,71 \pm 0,22	Não conferir mudança ao corpo receptor
Fito germinação, tamanho raiz (cm)	(%) 83% \pm 25% 2,7 cm \pm 0,52 cm	-
Eco CE (I) 50% 48h	58% \pm 6,9%	FT=1 para toxicidade aguda* CE(I)50 = 100%
*Coliformes Totais	1,78 x 10 ⁶	-
*Escherichia coli	9,35 x 10 ⁵	-

*Não há limites básicos estabelecidos pela legislação estadual para uma vazão máxima de lançamento de até $200 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$. Para os parâmetros a unidades adotada é mg L^{-1} , com exceção de Coliformes totais e *E. coli* -

UFC/100mL; condutividade - $\mu\text{s cm}^{-1}$; turbidez - NTU e cor $\lambda 420$; CE(I) 50% 48h .* Resolução CONSEMA 128/06 e 129/06.

Os resultados representados na Tabela 4 são referentes ao período de desenvolvimento da pesquisa, de Janeiro a Dezembro de 2015 (N=53).

O afluente utilizado nas análises demonstra uma alta carga eutrofizante, principalmente pelo elevado nível de Fósforo e Nitrogênio Amoniacal, quando comparados a estudos anteriores (HORN, 2011 e DUPONT, 2010).

Esta característica pode ser explicada pelo tipo de água residuária produzida, uma vez que ocorre uma grande variação no número de pessoas que frequentam as dependências da instituição de ensino durante os três turnos, caracterizando-se um local de passagem.

Desta forma, o afluente produzido é quase que em sua totalidade composto por urina e resíduos de limpeza, ricos em Fósforo e Nitrogênio, tais como: desinfetantes; detergentes; sabão em pó; etc.

Outra indicação importante do potencial eutrofizante do afluente estudado pode ser elucidada através dos valores encontrados de dois parâmetros essenciais: DQO e DBO₅.

Comparando os resultados obtidos com dados publicados em outros trabalhos referentes à ETE em questão, foi possível observar um crescimento relativo nestes valores, superiores aos descritos em estudos anteriores. Dupont (2010) e Horn (2011) registraram valores referentes aos parâmetros discutidos abaixo dos encontrados, em média os valores descritos foram de $176,6 \text{ mg L}^{-1}$ e $224,3 \text{ mg L}^{-1}$ de DBO₅ e $561,4 \text{ mg L}^{-1}$ e $264,5 \text{ mg L}^{-1}$ de DQO respectivamente.

5.2 Desenvolvimento de configuração e operação do sistema integrado Microalgas + Wetlands Construídos em regime de batelada

O presente estudo foi desenvolvido com o intuito de construir e operar um sistema integrado com Microalgas+Wetlands construídos em regime de batelada para tratamento de efluente gerado junto a ETE da UNISC, campus Santa Cruz do Sul/RS.

O projeto piloto foi dividido em duas etapas, na etapa I foram desenvolvidas duas configurações operacionais distintas, já na etapa II foi desenvolvido o sistema integrado com os ajustes que se mostraram necessários durante a operação das configurações anteriores.

Os sistemas que foram utilizados como comparativo ao sistema proposto, serviram como fonte de informação para as análises de desempenho observadas, a partir das análises realizadas, os problemas operacionais, a influência das condições climáticas, o volume e o

tempo de abastecimento dos sistemas serviram como parâmetros para o desenvolvimento e adequação do projeto piloto ao longo da pesquisa.

O projeto piloto teve seu início no final de 2014, onde foi colocado em uma caixa de 200L um cone de acrílico do tipo pirâmide, em seguida foi adicionado à caixa afluente proveniente do tanque equalizador da ETE UNISC.

Nesta configuração (configuração I), ainda foi adicionada uma caixa de acrílico transparente com capacidade de volume de cerca de 20L com uma bomba submersa para promover a recirculação do efluente.

Assim, a ploriferação das microalgas e o seu cultivo, foram desenvolvidos com a exposição à incidência de luz solar a partir do fotobiorreator aberto do tipo cone, isto é, um sistema de produção de biomassa de microalgas totalmente aberto (Figura 4).



Figura 4: Configuração I: Fotobiorreator do tipo cone para proliferação das Microalgas (MA); (TQR) Tanque de Recirculação.

As microalgas que ploriferaram no sistema proposto são provenientes de cepas selvagens que têm seu crescimento espontâneo neste meio efluente, sendo de ocorrência natural neste ambiente.

Nesta etapa inicial de desenvolvimento e configuração do sistema, a configuração I foi operada por um período correspondente a quatro meses, de dezembro de 2014 a março de 2015, neste período foi verificado controle de vazão de alimentação estabelecendo tempo de

carga para os sistemas em batelada, bem como o TDH mínimo de três dias referendado nas literaturas que também utilizaram regime de operação semelhante (HERRERA-MELIÁN *et al.*, 2012; DUFRESNE *et al.*, 2015 e HORN *et al.*, 2014).

Assim, foi desenvolvido o sistema conforme ilustrado na Figura 20.

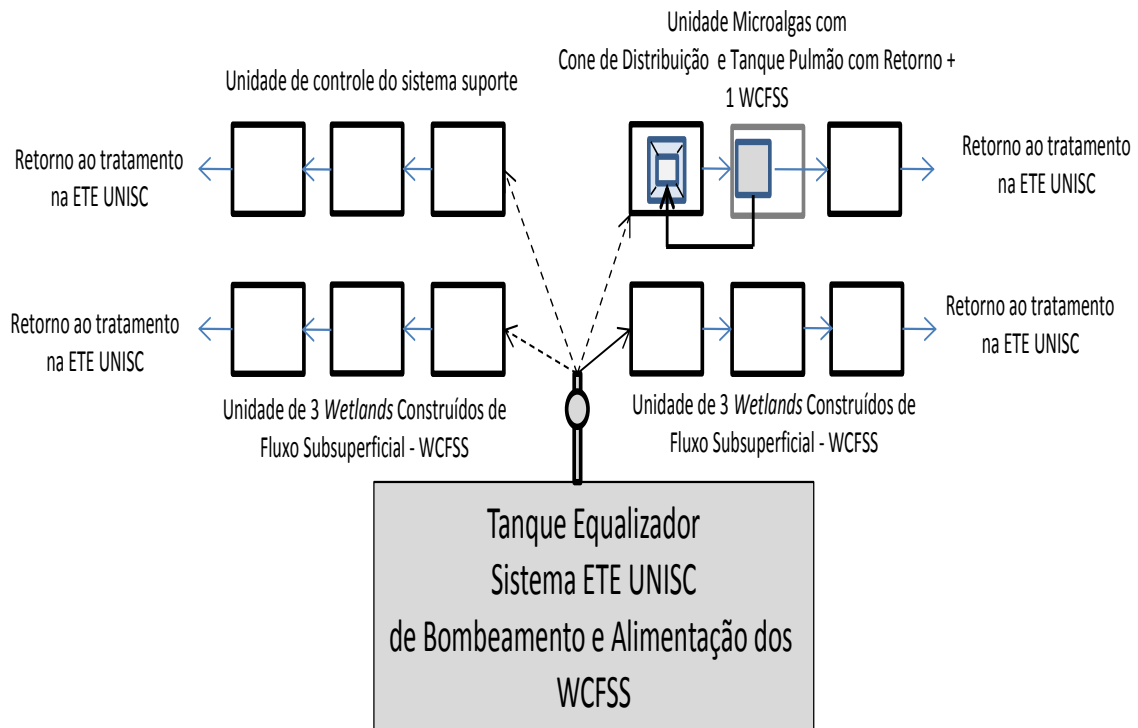


Figura 20: Configuração I: Detalhamento dos sistemas operacionais (Sistema Integrado Microalgas+Wetlands Construído de Fluxo Sub-superficial) representado no canto superior direito da figura.

Um dos principais contratemplos encontrados durante a operação da configuração I foi a dificuldade de manter o abastecimento dos sistemas uniforme. Dadas as variações de preenchimento e de vazão que o tanque de equalização da ETE em escala real apresentava, muito por conta de que o período inicial do projeto piloto coincidiu com o período de férias da universidade, conseqüentemente o afluente disposto no tanque de equalização nem sempre supria o abastecimento dos sistemas.

Como tentativa de minimizar os efeitos de falta de efluente no tanque equalizador, dentro da configuração I, passou-se a utilizar como afluente para abastecimento o efluente retirado pós-tanque equalizador. Por curto período esta prática foi adotada, pois em seguida foi proposta outra configuração que será detalhada na sequência.

Outra dificuldade encontrada nesta primeira etapa foi o modo como os sistemas eram abastecidos, através de baldes, o que acabou por formar caminhos preferenciais nos Wetlands Construídos e no sistema Controle, perdendo assim a característica de meio filtrante esperado

neste tipo de remediação, além de que nestes moldes a alimentação ocorria de forma praticamente instantânea, quando o recomendável seria um perfil de percolação, proporcionando uma maior homogeneidade no processo filtrante reproduzindo o ambiente natural.

Além disso, no sistema integrado a caixa de acrílico transparente onde a bomba submersa realizava a recirculação demonstrou ser muito mais um problema do que uma solução, uma vez que por ser menor em dias de intensidade nas temperaturas seu volume era praticamente todo evaporado, deixando assim a bomba trabalhando sem líquido, o que fatalmente teria estragado a mesma não fosse o monitoramento diário realizado.

A pequena caixa transparente também apresentou problemas em dias de precipitação, da mesma forma que a evaporação do líquido foi um problema, o excesso de líquido acabou por ser também problemático, já que sua estrutura frágil não foi capaz de suportar o aumento do volume, gerando vazamentos que acabaram por romper sua estrutura.

Durante o desenvolvimento da configuração I, foram analisados os parâmetros físico-químicos para avaliação de desempenho dos sistemas estudados (Tabela 5).

Tabela 5: Resultados preliminares observados durante a operação da configuração I, média geral e desvio padrão dos parâmetros analisados.

Método	EB		WC		C		CF		MA (686 nm)		WCPMA	
Turbidez	118,8	± 57,2	11,5	±10,3	13,7	±13,9	0,9	± 3,3	125,5	±24,1	59	± 8,9
Cor	0,6	± 0,3	0,2	±0,05	0,05	±0,15	0,01	± 0,01	0,67*	±0,09	0,73	± 0,01
pH	7,78	± 0,4	5,7	±0,5	5,92	±0,45	6,1	± 0,3	9,06	±0,65	6,65	± 0,34
DQO	684,8	± 267,0	167,6	±195,9	87,66	±53,0	191,6	± 154,8	334,7	±235,0	401	± 47,9
Fósforo	7,7	± 2,5	3,1	±0,3	2,32	±0,56	0,7	± 0,05	4,36	±0,87	5,21	± 0,23
Cond.	1182,8	± 259,2	528,8	±257,9	636,3	±140,8	862,3	± 123,0	608,8	±139,0	888,6	± 173,4

Cond.: Condutividade ($\mu\text{s cm}^{-1}$); Turbidez (NTU); DQO (mg L^{-1}); Fósforo-P (mg L^{-1}); Cor ($\lambda 420$) para todos as análises menos para MA ($\lambda 686$).

***EB**- Efluente Bruto; **RA**- Reator Anaeróbico; **C**- Controle; **CF**- Controle Final; **WC**- *Wetland* Construído; **WCF**- *Wetland* Construído Final; **MA**- Microalgas e **WCPMA**- *Wetland* Pós-microalgas.

Os resultados obtidos nesta primeira configuração serviram principalmente para o diagnóstico de problemas de operação do sistema como um todo, apesar de ter ocorrido redução dos parâmetros em relação ao Efluente Bruto, o sistema integrado MA+Wetlands Construídos precisaria de ajustes.

Com a proposição do projeto piloto junto a ETE da universidade, o desenvolvimento do sistema integrado, configuração e operação foram realizados ao ar livre, conseqüentemente exposto a variações climáticas.

Essa metodologia de trabalho foi adotada propositalmente uma vez que neste estudo uma das questões a serem averiguadas foi a resposta referente ao desenvolvimento e rendimento do sistema integrado nas diferentes estações do ano.

Como o sistema proposto consistiu na integração de um pré-tratamento com microalgas fotossintetizantes, seguido de um pós-tratamento com macrófitas aquáticas que também realizam fotossíntese, os índices de temperatura e precipitação foram importantes fatores no processo.

Dados sobre temperatura e precipitação foram analisados com o intuito de observar o comportamento do desempenho dos tratamentos ao longo do ano de 2015 conforme segue os gráficos representam as temperaturas médias (Figura: 21) e os índices de precipitação média no mesmo período (Figura: 22).

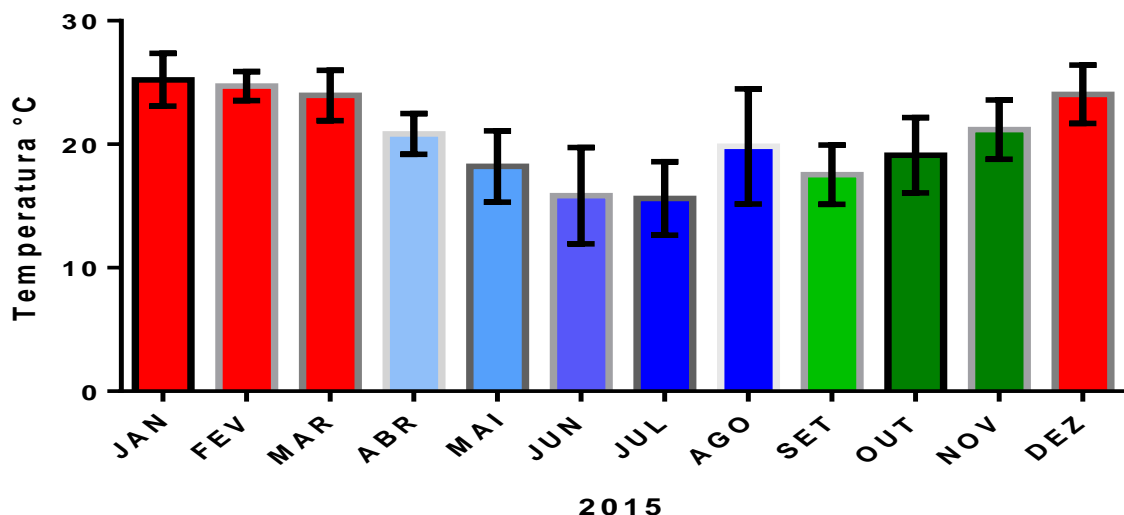


Figura 5: Temperatura média durante o período de desenvolvimento do projeto, média e desvio padrão.

Durante o período de desenvolvimento do sistema integrado e o monitoramento dos resultados amostrais, as temperaturas médias registradas destacadas na Figura 21, retrataram as condições climáticas da região de Santa Cruz do Sul/RS, as estações bem distintas entre si,

com temperaturas mais altas no verão, chegando a 37, 2 °C em Janeiro e temperaturas baixas no inverno com mínima registrada em Junho de 2,8°C (Anexo A).

Mesmo que os índices médios apresentados indiquem uma condição considerada dentro da normalidade para a região, o desvio padrão indica a variação ocorrida em cada mês, esta variação na temperatura e também nos índices de precipitação (Anexo A) está diretamente relacionada ao desempenho dos *Wetlands* Construídos e do desenvolvimento das Microalgas, uma vez que plantas e organismos fotossintetizantes têm seu desenvolvimento limitado ou acelerado por esses fatores climáticos.

Além disso, como a obtenção das amostras e o abastecimento dos sistemas foi realizado sempre a cada três dias, altas temperaturas registradas no dia anterior acabavam por proporcionar altas taxas de evaporação e evapotranspiração no caso dos *Wetlands* Construídos, fazendo com que não houvesse amostras para coleta.

Da mesma forma, os índices de precipitação podem ter influência sobre os resultados referentes às amostras obtidas após taxas representativas de chuvas um dia antes ou nos dias que antecederam as coletas.

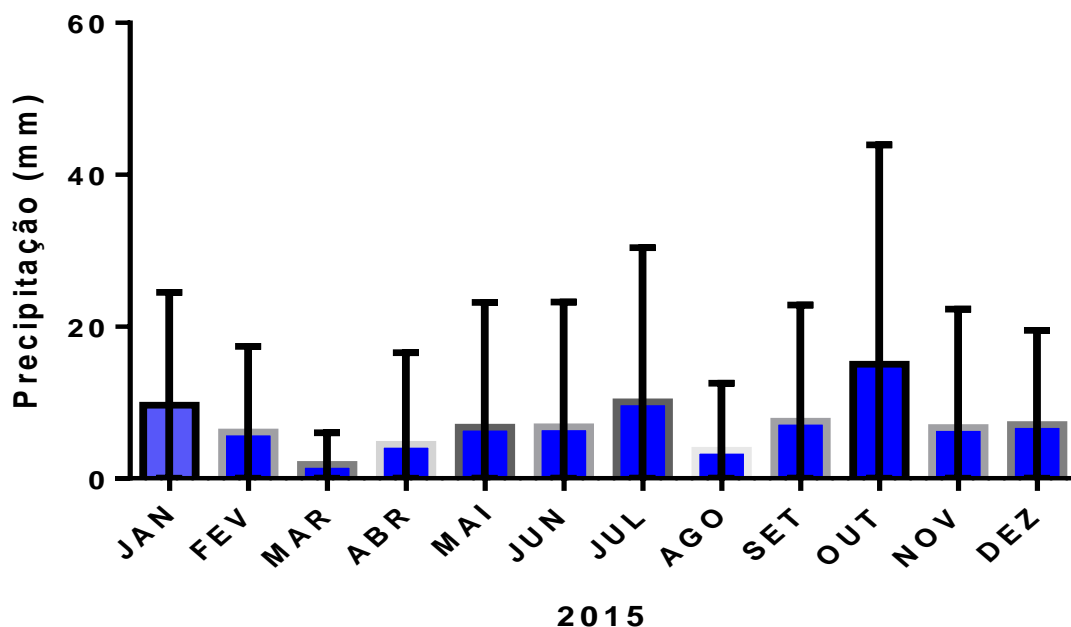


Figura 6: Precipitação média durante o período de desenvolvimento do projeto, média e desvio padrão.

Os índices de precipitação foram maiores no período que envolveu o mês de Outubro, com um total de 451 mm de chuvas ao longo do mês. Grande parte deste índice foi registrado

em um só dia, no dia 7 de outubro a Estação Meteorológica da UNISC, localizadas nas coordenadas “Latitude: 29° 42' 00" S Longitude: 52° 24' 00" W” com elevação de 50 m, indicou o volume de 128,6 mm de precipitação, uma vez que a estação climatológica fica a cerca de 200 m da ETE, estes resultados podem ser considerados de extrema importância no desenvolvimento do projeto piloto.

Durante o período de operação na configuração I foi possível detectar outro importante ponto, a evaporação e evapotranspiração, nos meses de janeiro e fevereiro principalmente, os sistemas *Wetlands* perdem cerca de 50 a 60% do seu volume para a atmosfera.

Isto também foi observado por Horn (2011). Por sinal, o sistema utilizado por Horn foi semelhante ao aplicado neste trabalho no que diz respeito aos *Wetlands* Construídos.

A evaporação pode ser facilmente observada no tanque onde se desenvolveram as microalgas, porém determinar o número exato de evapotranspiração nos sistemas com *Wetlands* construídos é bem mais complexo.

O comportamento dos sistemas demonstraram ser semelhante ao encontrado na literatura, Gallina *et al* (2012) obtiveram resultados que podem chegar ao valor de 67,5% num período de 12 horas, onde registrou-se um aumento de temperatura e diminuição significativa de umidade.

5.3 Configuração II, Etapa I

A partir das observações realizadas no sistema de partida, foram feitos alguns ajustes no sistema operacional do projeto piloto, principalmente no que se refere ao abastecimento.

Devido aos diversos problemas encontrados durante a primeira configuração, foi construído um Reator Anaeróbio que passou a ser utilizado como pré-tratamento e fonte de alimentação para o sistema integrado e demais sistemas comparativos.

Outra providência importante para a operacionalidade e por ser praticamente inviável sua reprodução em escala real no tratamento de efluentes foi a remoção da caixa de acrílico (TQR- Tanque de Recirculação) do sistema integrado, passando a funcionar apenas com a caixa escura com o cone e o *Wetland* Construído. Na Figura 23 podemos observar a Configuração II detalhadamente.

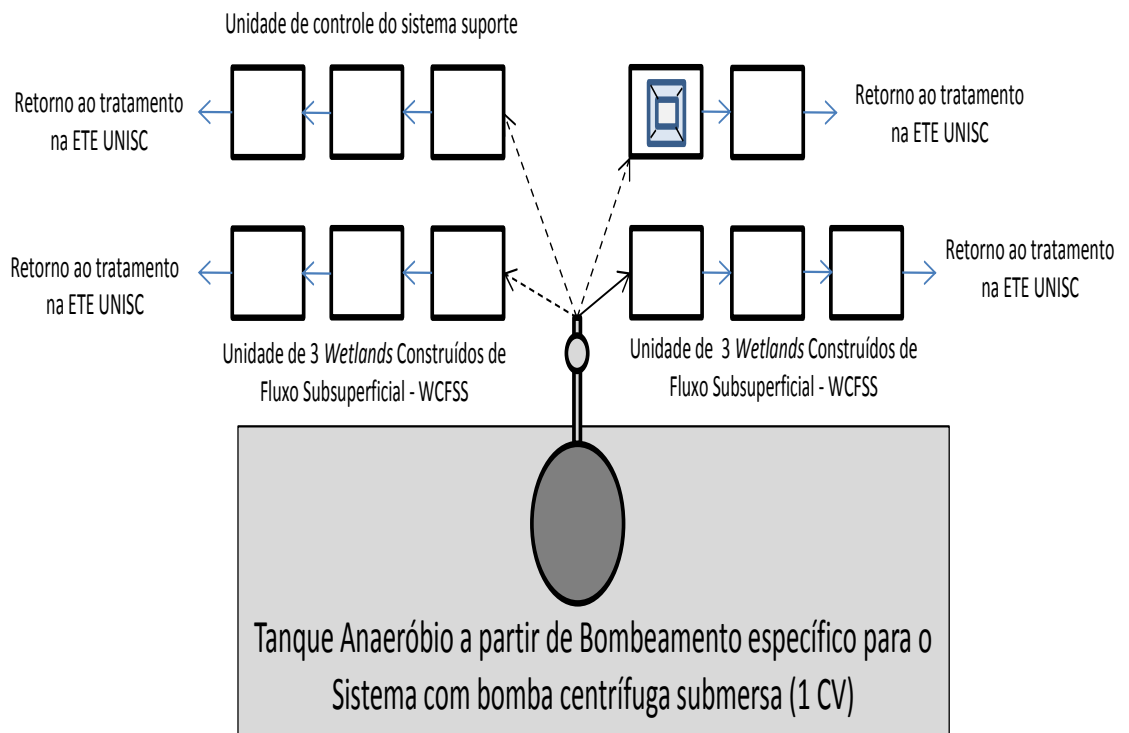


Figura 23: Fluxograma ilustrativo da configuração II: Com Reator Anaeróbio em funcionamento e sem o Tanque de Recirculação das Microalgas no sistema integrado.

Com o advento do RA foi instalado junto ao tanque equalizador uma bomba centrífuga submersa de 1 CV para bombeamento até o RA, com acionamento manual, esta mudança de configuração proporcionou uma melhor operacionalidade dos sistemas em geral.

A obtenção das amostras e as análises seguiram sendo realizadas nos mesmos moldes da configuração I, os resultados obtidos durante o período de monitoramento podem ser observados a seguir.

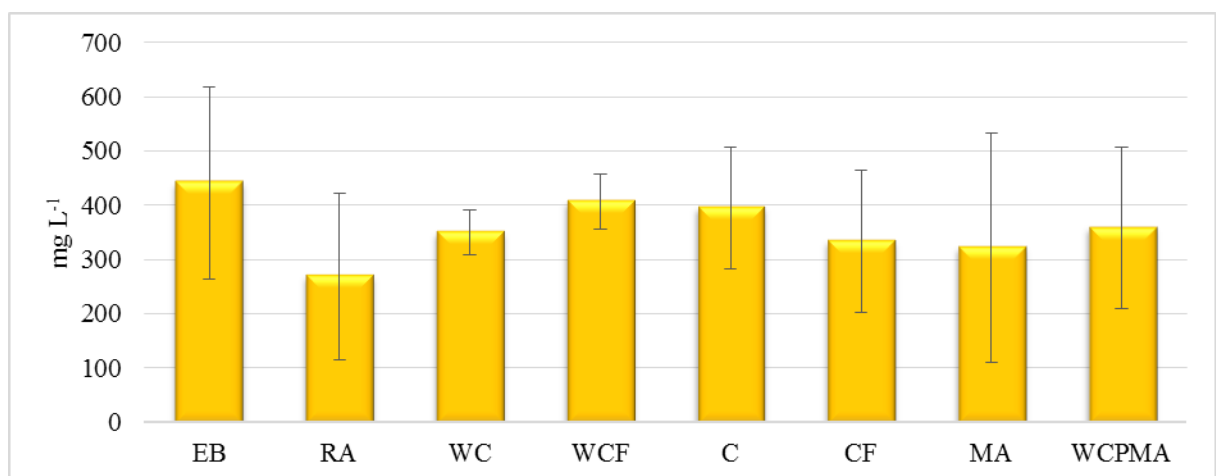


Figura 24: Resultados referentes à média e desvio padrão da DBO₅ Configuração II.

***EB**- Efluente Bruto; **RA**- Reator Anaeróbio; **C**- Controle; **CF**- Controle Final; **WC**- *Wetland* Construído; **WCF**- *Wetland* Construído Final; **MA**- Microalgas e **WCPMA**- *Wetland* Pós-microalgas.

Durante o período de desenvolvimento das pesquisas em que a configuração II foi operada foi possível observar a redução, embora pequena, nos níveis de DBO_5 em comparação com o EB, mesmo estando o sistema integrado em fase de adaptação os resultados para este parâmetro demonstraram uma eficiência superior aos resultados dos *Wetlands* construídos, por exemplo.

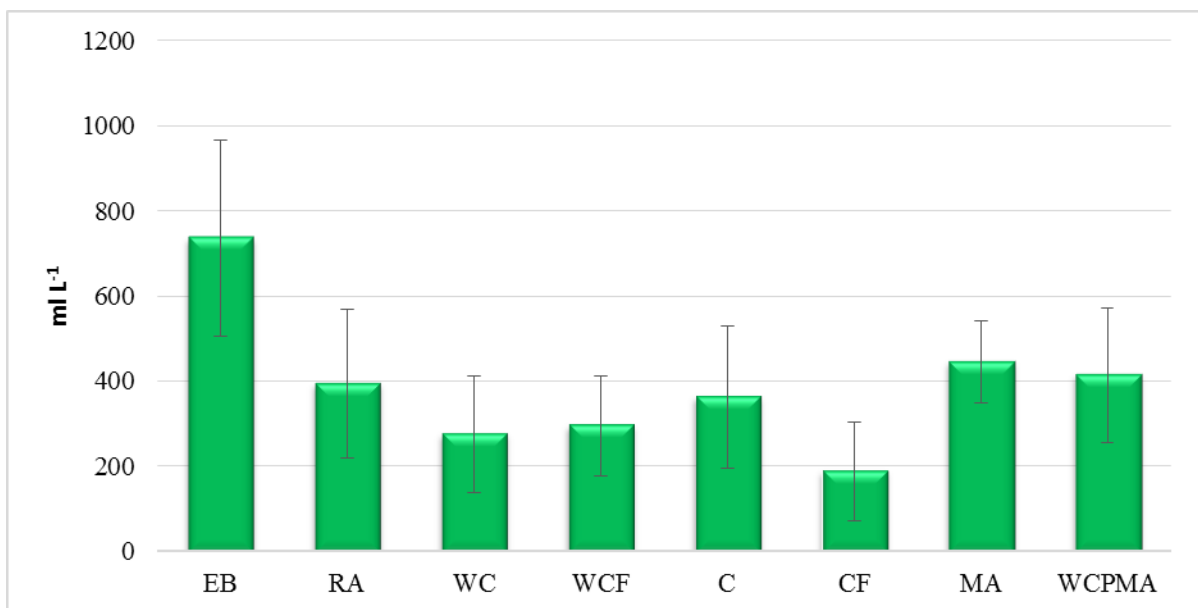


Figura 25: Desempenho das análises de DQO: média e desvio padrão, Configuração II.

***EB**- Efluente Bruto; **RA**- Reator Anaeróbio; **C**- Controle; **CF**- Controle Final; **WC**- *Wetland* Construído; **WCF**- *Wetland* Construído Final; **MA**- Microalgas e **WCPMA**- *Wetland* Pós-microalgas.

Com relação à DQO, foi possível verificar uma redução em comparação com EB, porém neste caso, os WCs obtiveram melhor desempenho quando comparado ao sistema MA+WCs (Figura: 25).

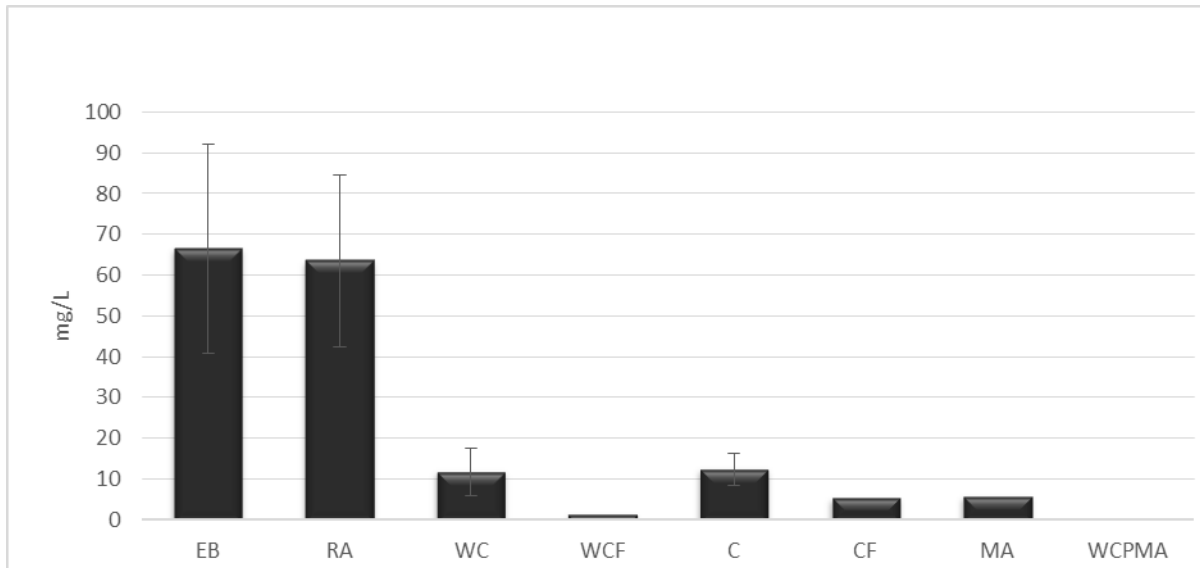


Figura 26: Dados obtidos referentes às análises de N. Amoniacal.

***EB**- Efluente Bruto; **RA**- Reator Anaeróbico; **C**- Controle; **CF**- Controle Final; **WC**- *Wetland* Construído; **WCF**- *Wetland* Construído Final; **MA**- Microalgas e **WCPMA**- *Wetland* Pós-microalgas.

O parâmetro que obteve o melhor desempenho em termos de remoção foi o N-NH^3 (Figura: 26), onde o sistema integrado MA+WCs conseguiu reduzir a zero, uma eficiência de 100% na remediação deste parâmetro, mesmo esta configuração demonstrando alguns problemas de operação e alimentação dos sistemas, ainda assim os resultados para este parâmetro demonstraram ser esta tecnologia promissora.

O Fósforo é um agente eutrofizante muito importante dentro dos ecossistemas, principalmente aquáticos, por ser um fator limitante de crescimento para organismos fotossintetizantes como microalgas, plantas, etc. Desta forma, a contaminação dos corpos d'água através de surfactantes provindos de detergentes e outros produtos de limpeza além da matéria orgânica presente nos efluentes domésticos, pode afetar a biota em todos os níveis tróficos dentro de um sistema aquático.

Assim sendo, o Fósforo apresenta um enorme potencial eutrofizante e consequentemente sua disposição excessiva apresenta um risco para saúde pública.

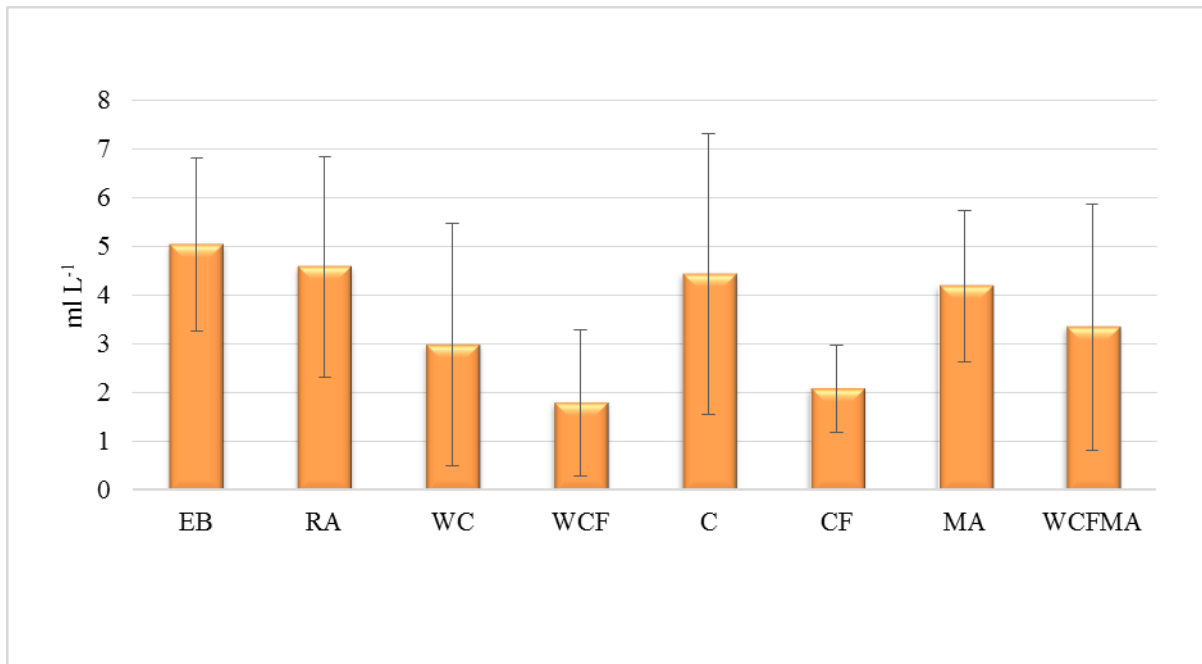


Figura 27: Resultados das análises referentes aos níveis de concentração de P Total.

***EB**- Efluente Bruto; **RA**- Reator Anaeróbio; **C**- Controle; **CF**- Controle Final; **WC**- *Wetland* Construído; **WCF**- *Wetland* Construído Final; **MA**- Microalgas e **WCPMA**- *Wetland* Pós-microalgas.

Embora nesta etapa tenha ocorrido um avanço na redução deste parâmetro em relação ao EB, os resultados obtidos estão relativamente elevados de acordo com a legislação vigente (CONSEMA n°128, 2006).

Muito provavelmente tenha ocorrido uma interferência de coloides na análise destas amostras, uma vez que o método utilizado na configuração II foi feito através de leitura óptica em espectrofotometria, neste caso as microalgas provenientes do tanque podem interferir no método de leitura.

Durante os estudos realizados com a configuração II em operação, os resultados obtidos dos parâmetros destacados na tabela 6 mantiveram praticamente o mesmo comportamento dos resultados descritos durante a configuração I, a variação pequena pode estar relacionada às mudanças climáticas já que a configuração II foi desenvolvida entre as estações de outono e inverno, enquanto que a configuração I teve sua operação durante a primavera, o verão e parte do outono.

Tabela 6: Resultados obtidos durante a configuração II, parâmetros de acompanhamento das características do efluente.

ETAPA I (Configuração II)				
Média Geral +Desvio Padrão				
	pH	Condutividade (μScm^{-1})	Turbidez (UT)	Cor Aparente (Abs. $\lambda =420$ nm)
E B	7,72 \pm 2,9	1005,17 \pm 280	187,54 \pm 85	0,71 \pm 0,56
R A	6,95 \pm 2,3	1107,09 \pm 230	47,84 \pm 28	0,21 \pm 0,18
C	5,92 \pm 0,28	636,28 \pm 121	13,80 \pm 11	0,05 \pm 0,03
C.F	6,28 \pm 0,25	618,01 \pm 103	0,85 \pm 0,23	0,03 \pm 0,03
WC	5,72 \pm 0,72	528,88 \pm 97	11,53 \pm 0,36	0,24 \pm 0,12
WCF	6,54 \pm 0,53	677,43 \pm 95	2,98 \pm 0,21	0,08 \pm 0,05
MA	8,62 \pm 0,67	671,13 \pm 176	78,73 \pm 0,27	* 0,57 \pm 0,16
WCPMA	6,65 \pm 0,08	888,69 \pm 187	59,04 \pm 0,15	0,74 \pm 0,54

* Leitura feita em 420nm, e para amostras contendo microalgas, 686nm.

***EB**- Efluente Bruto; **RA**- Reator Anaeróbio; **C**- Controle; **CF**- Controle Final; **WC**- *Wetland* Construído; **WCF**- *Wetland* Construído Final; **MA**- Microalgas e **WCPMA**- *Wetland* Pós-microalgas.

O crescimento das microalgas foi monitorado através do método colorimétrico por espectrofotometria com comprimento de onda de 686 nm, conforme descrito por Lananan *et al* (2014), os resultados obtidos são referentes ao período de operação da Configuração I e II, com um total de amostragens de 29 coletas (N= 29), a curva de crescimento pode ser observada na Figura 28.

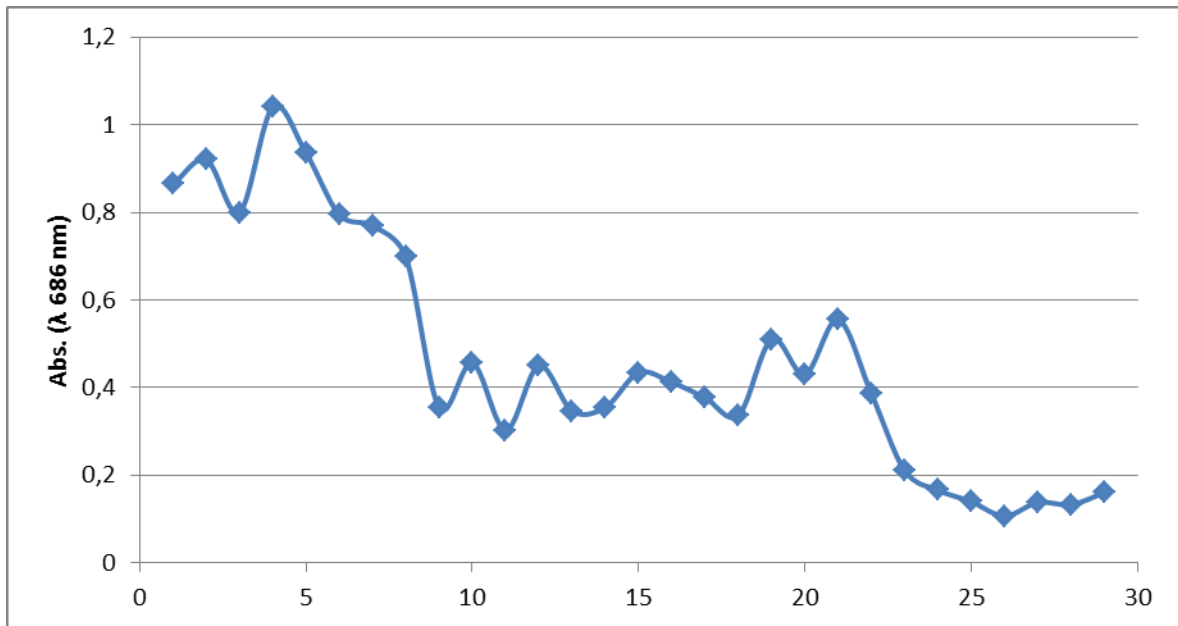


Figura 28: Desenvolvimento das Microalgas durante o período de operação da Configuração II. Representação da curva de crescimento em unidades Absorciométricas (λ 686 nm)x (N= 29).

O desenvolvimento microalgal apresentou uma curva descendente contrariando os resultados encontrados na literatura, as curvas de crescimento de forma geral obedecem quatro fases de desenvolvimento: Fase de indução (Fase Lag); Fase exponencial (Fase Log.); Fase estacionária e Fase de morte celular. (PACHECO *et al.*, 2015).

Mesmo que as fases de crescimento das microalgas descritas sejam referendadas considerando o período médio de 20 dias, estas podem servir como base para interpretação dos resultados obtidos nesta primeira etapa de desenvolvimento do projeto piloto. É importante ressaltar que apesar do gráfico estar expondo dados correspondentes a um período de cerca de 4 meses, estes resultados deveriam apontar um comportamento na curva semelhante aos encontrados na literatura.

A curva descendente pode ter também relação com as condições climáticas registradas no período (Figuras: 21 e 22), uma vez que o método de determinação utilizado foi colorimétrico conforme Lananan, 2014, os índices de precipitação e a diminuição nas temperaturas médias podem contribuir para diluição das amostras analisadas e uma redução do metabolismo das microalgas diminuindo assim sua concentração. A curva de crescimento ilustrada na Figura 28 representa o período de desenvolvimento da configuração II monitorada de abril a junho de 2015, período onde predomina as estações outono/inverno.

Desta forma, através dos resultados obtidos durante a Configuração II, foi possível identificar alguns problemas que precisavam ser reparados, embora a inclusão do Reator Anaeróbio (RA) tenha resolvido boa parte dos problemas de disponibilidade do efluente para

abastecimento, este ainda mostrou-se incapaz de suprir a demanda necessária para atender de forma adequada a alimentação dos três sistemas operacionais.

Problemas relacionados ao abastecimento ainda foram detectados nesta configuração, pois apesar do efluente passar a ser carregado nos sistemas através de uma mangueira conectada ao RA, esta não dispunha de um mecanismo controlador de vazão, fato que dificultou a alimentação dos tanques, para que a quantidade a ser abastecida não fosse errônea, um cálculo da vazão utilizando o balde foi necessário, mesmo assim isso não garantia a regularidade do carregamento.

Um dos principais obstáculos encontrados durante este período foi a baixa incidência solar na placa de energia fotovoltaica. Como a operação e o monitoramento da Configuração II foram realizados durante o período de outono e inverno (Abril a Junho), quando ocorreram mais dias chuvosos e/ou nublados, a conversão dos raios solares em energia elétrica não foi eficaz.

Desta forma, a bomba submersa responsável pela recirculação no tanque das microalgas muitas vezes deixou de funcionar, interrompendo assim a recirculação e conseqüentemente a oxigenação do meio onde as microalgas se desenvolviam. Esta “quebra” de fluxo provavelmente tenha sido determinante no desempenho do sistema durante a configuração II.

Por fim, a configuração II mostrou-se ineficiente, pois não foi possível sanar as dificuldades encontradas na configuração I. Uma vez que, mesmo realizando o abastecimento dos sistemas com a mangueira os problemas de “caminho preferencial” persistiram, além disso, por ser alimentado com efluente proveniente do tanque das MA o WCPMA continuava a ser alimentado por baldes.

Diante destas constatações, foi proposta uma nova configuração que será explicada detalhadamente na etapa II.

5.4 Ensaios de tratamento, Etapa II, configuração III

Após o desenvolvimento da etapa I as análises de desempenho do sistema integrado MA+WCs apresentaram resultados promissores mesmo com as dificuldades detectadas durante o período de monitoramento, para minimizar as possíveis interferências no desempenho causadas pelos problemas de abastecimento e fluxo, com a recirculação no tanque de MA que estava sendo ineficaz, foi desenvolvida a configuração III.

Assim, na etapa II, foram desenvolvidas modificações que determinaram a sequência do restante da pesquisa, com o intuito de sanar as principais dificuldades encontradas nas

configurações propostas anteriormente, as principais mudanças podem ser visualizadas na Figura 29.

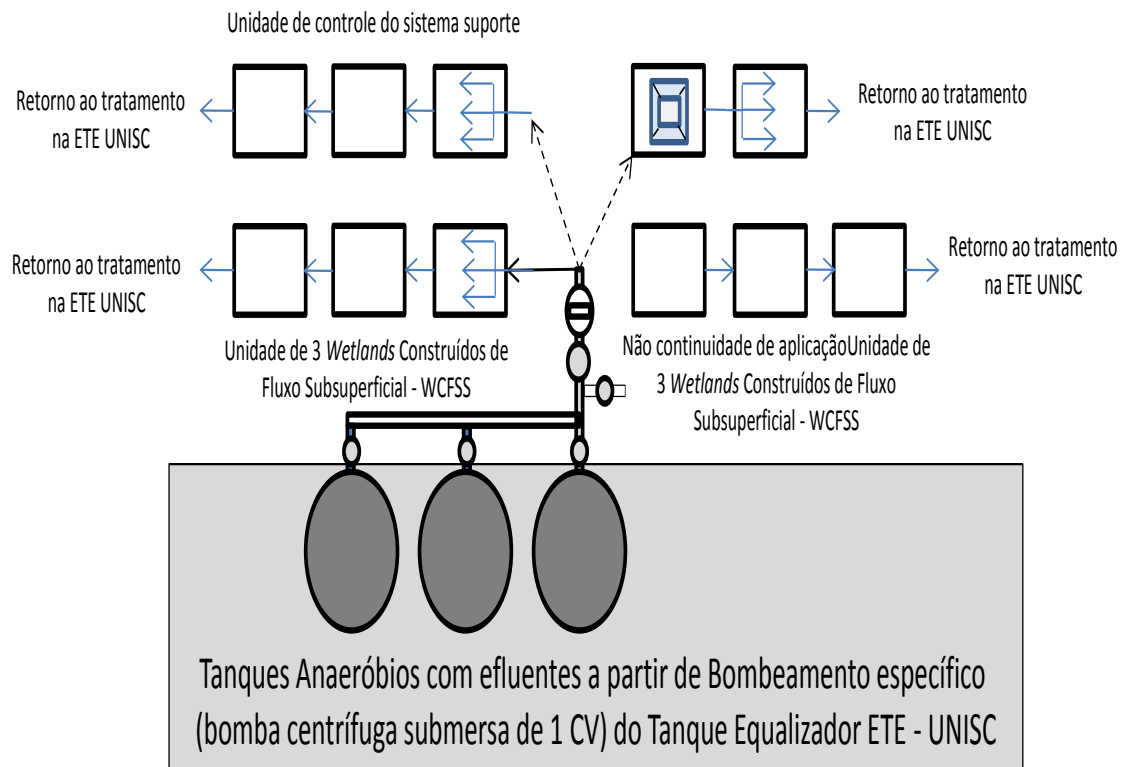


Figura 29: Fluxograma demonstrando as principais mudanças desenvolvidas durante a Etapa II, configuração III.

Conforme ilustrado na Figura 29, as modificações mais significativas foram propostas principalmente em duas frentes: Armazenamento e abastecimento.

Para resolver a questão de disponibilidade de efluente pós-Reator Anaeróbio foram adicionadas mais dois tanques de Polietileno (bombonas) conectadas através de canos de PVC facilitando o fluxo entre os recipientes, para um maior controle de vazão desenvolveu-se um sistema composto por um hidrômetro localizado na saída do RA conectado a uma mangueira flexível com um registro na outra extremidade da mangueira.

Desta forma, foi possível controlar a vazão de modo satisfatório, porém só com estes ajustes ainda não era possível eliminar o problema de “caminho preferencial” causado pelo fluxo da mangueira de abastecimento e/ou dos baldes, como fora realizado nas configurações anteriores.

Com o intuito de sanar o problema, foi desenvolvido um pequeno artefato composto por canos de PVC de 0,5 polegadas com pequenos furos, denominado “Sistema de

Distribuição” (SD). Tendo por objetivo reproduzir a vazão de alimentação dos sistemas descritas por Gschlöbl *et al.* (1998), que propôs um volume de alimentação para os WCs de 20 cm dia⁻¹ ao invés de 160 cm hora⁻¹ como aplicado na configuração II. Com a utilização do “SD” foi possível ajustar a taxa de aplicação a valores próximos aos que os pesquisadores testaram.

Na saída do tanque de MA foi instalado uma torneira para realizar o abastecimento do WCPMA aplicando os valores citados por Gschlöbl *et al.* (1998), assim, com um breve cálculo para estimar o volume a ser administrado através do “garfo”, a alimentação do WCPMA passou a ser realizada reproduzindo o perfil de percolação eliminando o problema de formação de “caminhos preferenciais”.

Ainda, como medida de melhoria adotada na configuração III algumas análises físico-químicas tiveram seu método analítico substituído ou modificado. Por exemplo, as análises de Fósforo total que passaram a ser realizadas com digestão ácida com o objetivo de separar de fase os coloides presentes nas amostras, principalmente das MA, minimizando assim a influência na hora da leitura pelo método colorimétrico.

Outra medida essencial para o desenvolvimento da configuração III ocorreu com a substituição da bomba submersa da caixa das microalgas. A bomba utilizada passou a ser alimentada por energia elétrica convencional ao invés da bomba anterior que utilizava energia fotovoltaica. Esta modificação possibilitou uma recirculação mais homogênea durante o período de desenvolvimento da etapa II.

5.5 Caracterização das microalgas

A identificação das microalgas foi realizada através de microscopia óptica nos aumentos de 100x e 1.000x no laboratório de limnologia da própria Universidade de Santa Cruz do Sul, com amostras retiradas do sistema integrado Microalgas/wetlands construídos, após um período de aproximadamente 2 meses de funcionamento.

Após a observação por microscopia, os gêneros foram identificados através de chaves de identificação de microalgas da classe *Chlorophyceae*. (BICUDO & MENEZES, 2006)

Os gêneros de microalgas identificados foram *Desmodesmus*, *Scenedesmus* e *Chlorella* (Figura: 30), foram produzidas a partir do crescimento espontâneo de espécies autóctones em efluente urbano da Universidade de Santa Cruz do Sul.

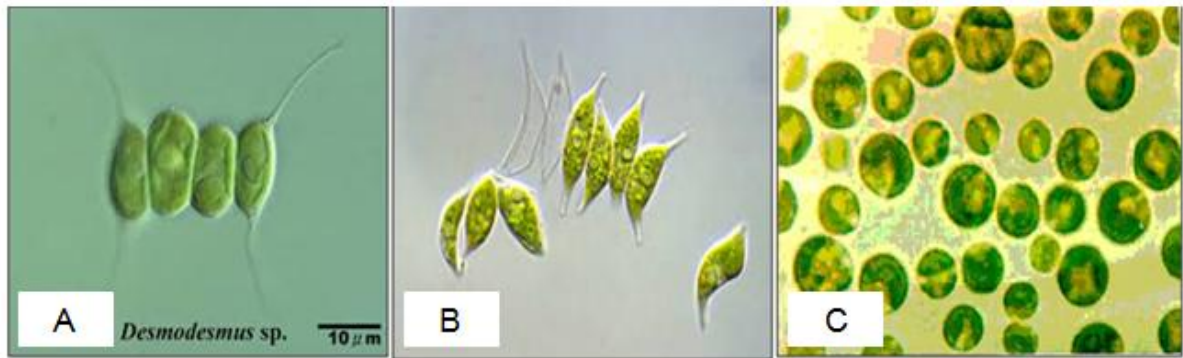


Figura 30: Ilustração representando os gêneros de Microalgas encontrados no sistema integrado MA+WCPMA, (A) *Desmodesmus*, (B) *Scenedesmus* e (C) *Clorella*.

Durante as três configurações desenvolvidas no projeto piloto, as microalgas identificadas mantiveram-se as mesmas, variando sua concentração de acordo com o período das estações do ano, contudo, na maior parte do tempo o gênero mais abundante foi o gênero *Scenedesmus*, esta constatação baseou-se apenas em observações de microscopia, portanto não é possível afirmar com certeza estatística qual gênero encontrado teve maior abundância.

As análises quantitativas seguiram conforme descrito na etapa I, com método colorimétrico para determinação de clorofila “a” com comprimento de onda de 686 nm conforme Lananan *et al* (2014).

Durante o período de desenvolvimento da Etapa II, logo após os ajustes e a determinação da Configuração final (Configuração III), foram realizadas novas análises referentes ao comportamento das microalgas no tanque de recirculação. Os resultados referentes à curva de crescimento podem ser observados na Figura 31.

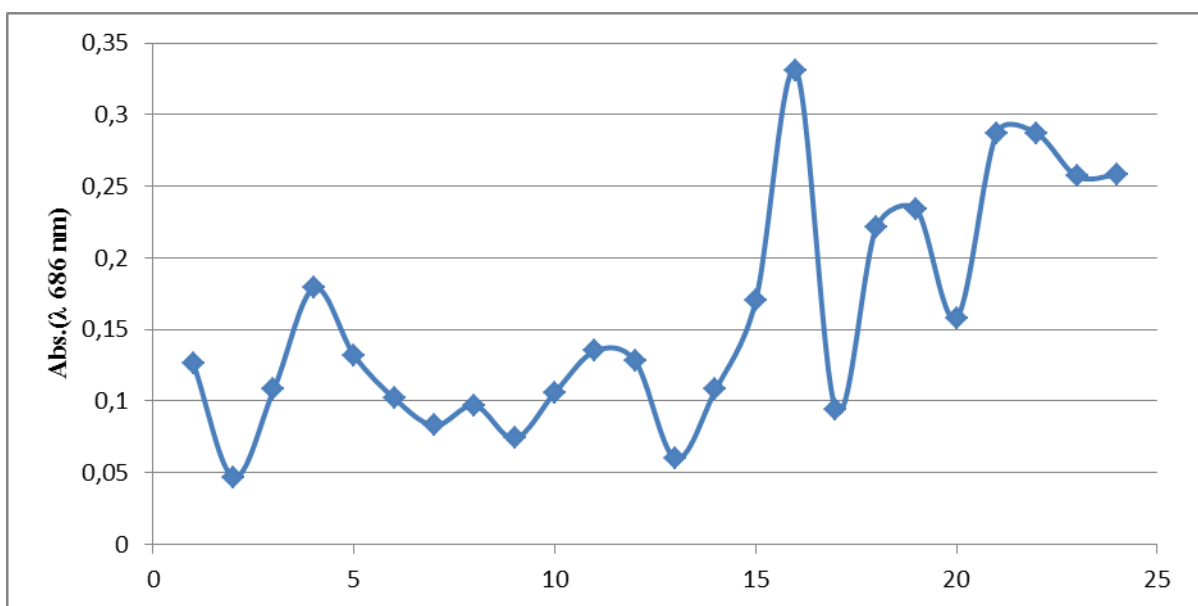


Figura 31: Gráfico de crescimento das Microalgas durante o período de operação da Configuração III. Representação da curva de crescimento em unidades Absorciométricas (λ 686 nm) x (N=24).

Como foi possível observar na Figura 31, o crescimento das microalgas durante o período obtiveram um comportamento mais próximo ao tipo de desenvolvimento encontrado na literatura, demonstrando uma similaridade com as fases de desenvolvimento descritas por Pacheco (2015).

O maior pico de crescimento coincidiu com as primeiras duas semanas pós-troca da bomba de recirculação, fato que afirma um melhor rendimento quando a recirculação do meio foi intermitente, no decorrer do período o comportamento da curva indica um desempenho muito semelhante aos encontrados em pesquisas onde as culturas de microalgas foram realizadas em sistemas de fotobioreatores fechados, ou mesmo em bancada de laboratório com todas as condições controladas para as microalgas se desenvolverem (SUN *et al.*, 2014 ; PARK *et al.*, 2012 e LEITE *et al.* (2015).

Durante o desenvolvimento da etapa II, as análises de espectrofotometria foram realizadas conforme descrito na etapa I, com o advento da leitura das amostras dos WCPMA em 686 nm para comparar a eficiência do sistema integrado quanto a retenção e/ou filtração das células das microalgas, uma vez que o WCPMA era alimentado com efluente pré-tratado com as microalgas e não foi criado obstáculo para remover esta biomassa, apenas o WCPMA. Os resultados obtidos podem ser visualizados na Figura 32.

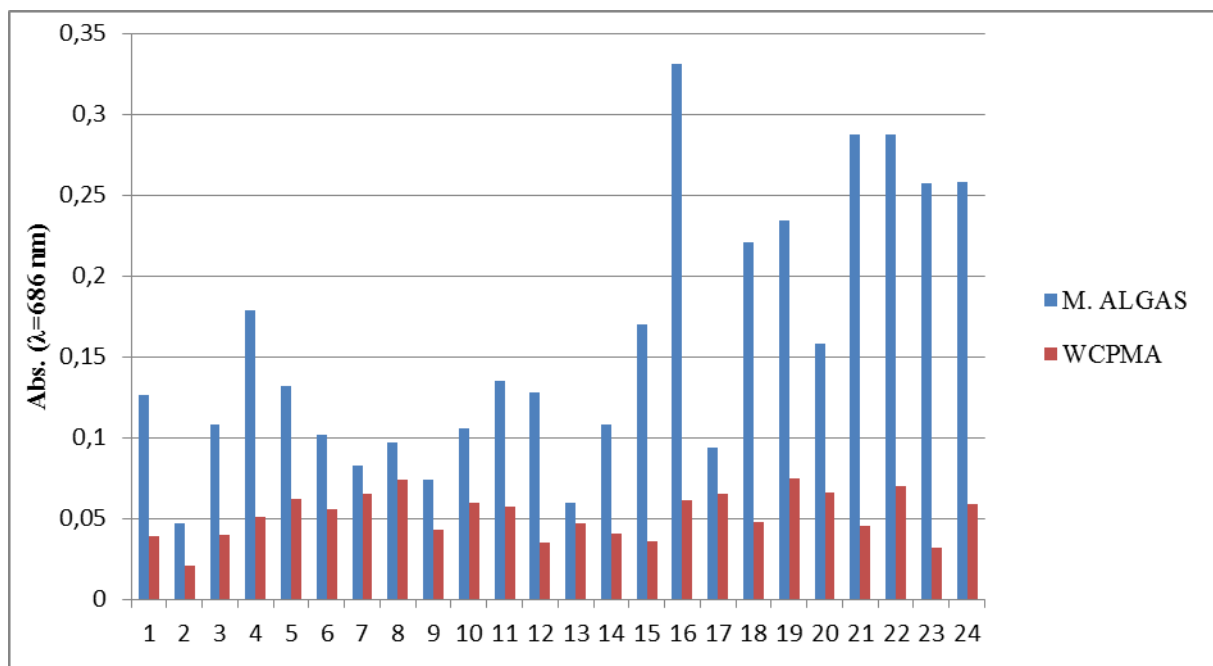


Figura 32: Gráfico comparativo entre as análises MA/WCPMA para verificação da retenção de biomassa microalgal. Representação do desenvolvimento em unidades Absorciométricas (λ 686 nm) x (N=24).

Através dos resultados obtidos observou-se que os *Wetlands* Construídos podem sim reter as células de microalgas diluídas no efluente, reduzindo drasticamente a quantidade

destas células no final do tratamento, reforçando a ideia de integração proposta no início do projeto.

5.6 Caracterização da biomassa gerada pelos *Wetlands* Construídos

Um dos fatores que justificam a aplicação do sistema integrado utilizando WCs pode ser demonstrado quando a biomassa gerada é considerada ou quantificada, esta biomassa, depois de realizados os devidos estudos toxicológicos, pode ser utilizada como alimento para animais ou ainda ser utilizada em outras aplicações voltadas a conversão em bioprodutos (Figura 33).



Figura 33: Exemplo de geração de biomassa dos WCs.

Como forma de quantificação, foi calculada a massa média da biomassa gerada a partir da determinação da coleta (poda) a uma altura de cerca de 0,10m acima da superfície do meio suporte dos *Wetlands* Construídos, considerando a massa úmida e a massa seca (massa úmida/massa seca). A massa seca foi obtida a partir da secagem em estufa bacteriológica a 65°C até atingir peso constante, os resultados podem ser observados na Tabela 7.

Tabela 7: Quantificação média da biomassa gerada no período de 4 meses dos *Wetlands* Construídos.

	Massa úmida	Massa seca
	Média kg m⁻²	Média kg m⁻²
WC 1	14,8	10,47
WC 2	11,66	9,54
WCF	5,1	3,97
WCPMA	8,36	6,25

Os resultados obtidos representaram comportamento semelhante aos descritos em pesquisas já realizadas utilizando esta macrófita como fitorremediadora, demonstrando obter uma produção de biomassa relativamente alta neste tipo de aplicação (SILVEIRA, 2010 e HORN, 2011). No entanto, a diferença das pesquisas citadas anteriormente é diretamente relacionada com as taxas de produção em kg m⁻². No caso o do trabalho desenvolvido por Horn (2011) a taxa de produção de biomassa no *Wetland* Construído foi de 1,6 kg m⁻² no período de 4 meses, enquanto que os valores da Tabela 7 demonstram para esta mesma etapa uma taxa de produção de 9,2 vezes maior.

A diferença para este maior rendimento se deve ao regime de operação do sistema, uma vez que a presente pesquisa foi realizada em batelada, enquanto que Horn (2011) utilizou fluxo contínuo..

5.7 Ensaios analíticos, etapa II, configuração III

O período em que foi desenvolvida a configuração III compreendeu o segundo semestre de 2015, nesta etapa as adaptações necessárias que haviam sido detectadas nas configurações anteriores foram executadas. A partir destas modificações as análises dos parâmetros físico-químicos continuaram a ser realizadas com o advento de outras variáveis, para que fosse possível uma maior amplitude nos resultados obtidos.

Uma vez determinado a configuração do sistema como sendo a configuração final, outros parâmetros foram testados a fim de agregar novas informações ao arcabouço de dados até então monitorado.

Os parâmetros monitorados nas configurações anteriores continuaram a ser testados, com as adaptações realizadas para averiguação da eficiência do sistema estudado.

Um dos parâmetros incluídos neste período da configuração III foi a Alcalinidade, os resultados obtidos durante as análises constam na Figura 34.

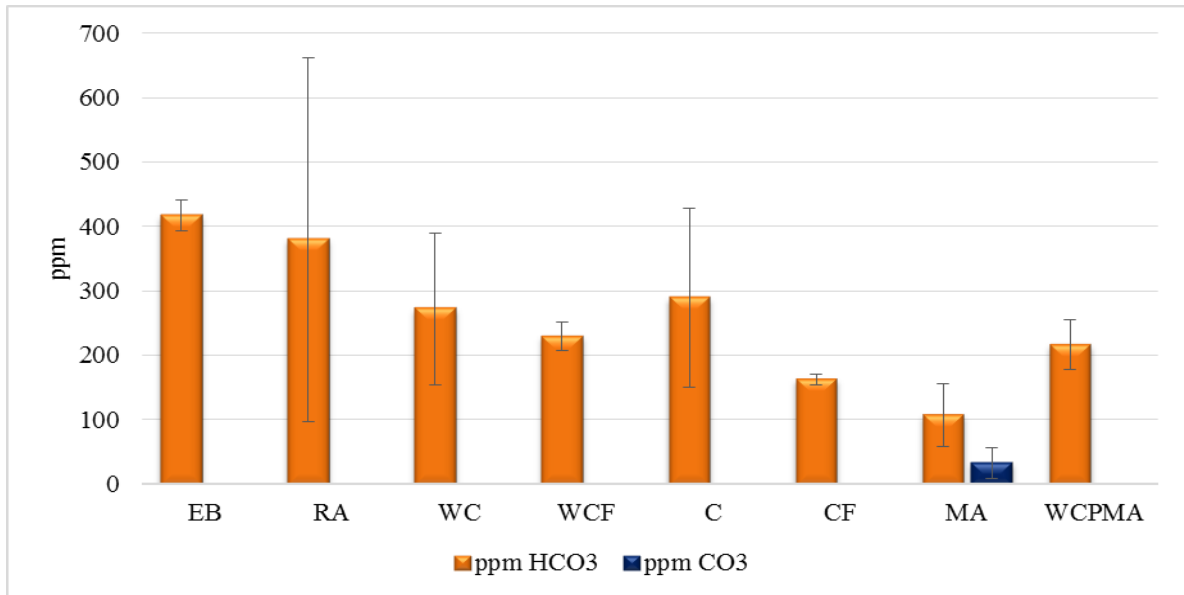


Figura 34: Alcalinidade do tanque com as Microalgas, representação dos níveis de HCO_3^- e CO_3^{2-} .

***EB**- Efluente Bruto; **RA**- Reator Anaeróbio; **C**- Controle; **CF**- Controle Final; **WC**- *Wetland* Construído; **WCF**- *Wetland* Construído Final; **MA**- Microalgas e **WCPMA**- *Wetland* Pós-microalgas.

Os níveis de Bicarbonato (HCO_3^-) e Carbonato (CO_3^{2-}) expressos no gráfico indicam uma ação de fixação de CO_2 das microalgas. Estes valores estão diretamente relacionados aos valores de pH (Tabela: 8), que usualmente aumentam com o crescimento da atividade das microalgas devido a assimilação de CO_2 com a atividade fotossintética. Tal comportamento pode ser observado na bibliografia, desta forma, a medida que as microalgas assimilam o CO_2 ocorre o aumento do pH do meio, diminuindo o HCO_3^- e aumentando o CO_3^{2-} (LARDOSTER, 2006 e SANTIAGO, 2013).

Ainda, os estudos citados acima indicam um pH, para o meio contendo microalgas, em torno de 9,0, esta correlação entre o pH e os carbonatos foram reproduzidos no gráfico acima, embora a média do pH do tanque de MA aponte um valor médio de 8,08. Isso pode ser explicado por tratar-se de um sistema aberto, portanto submetido às variações climáticas que influenciam no cálculo das médias.

Na Tabela 8 estão descritos os resultados referentes aos parâmetros gerais de caracterização dos efluentes estudados.

Considerando que para todos os dados foi adotada a média geral, uma vez que os experimentos foram desenvolvidos em sistemas abertos os valores em geral estiveram correlacionados as condições climáticas.

Fatores como evaporação, evapotranspiração (*Wetlands* Construídos) e precipitação têm influência nos índices de concentração, podendo oscilar conforme as condições climáticas e as estações do ano.

Tabela 8: Parâmetros de acompanhamento das características gerais dos efluentes.

ETAPA II- Configuração III				
	Média Geral+ Desvio Padrão			
	pH	Condutividade (μScm^{-1})	Turbidez (UT)	Cor Aparente (Abs. λ =420 nm)
E B	7,25 \pm 0,37	996,46 \pm 256,2	165,52 \pm 78,12	0,58 \pm 0,22
R A	6,81 \pm 0,4	1076,24 \pm 232,23	66,08 \pm 36,8	0,29 \pm 0,08
C	6,46 \pm 0,23	956,15 \pm 231,8	25,28 \pm 23,48	0,18 \pm 0,15
C F	6,00 \pm 0,29	578,15 \pm 139,93	2,95 \pm 10,13	0,03 \pm 0,02
WC	5,95 \pm 0,67	944,60 \pm 257,96	11,47 \pm 9,56	0,11 \pm 0,03
WCF	6,16 \pm 0,3	722,47 \pm 231,8	3,13 \pm 2,17	0,07 \pm 0,03
MA	8,08 \pm 0,85	641,66 \pm 137,63	25,35 \pm 20,17	0,16* \pm 0,01
WCPMA	6,22 \pm 0,56	591,35 \pm 178,56	18,42 \pm 9,14	0,18 \pm 0,05

* Leitura feita em 420nm, e para amostras contendo microalgas, 686nm.

***EB**- Efluente Bruto; **RA**- Reator Anaeróbio; **C**- Controle; **CF**- Controle Final; **WC**- *Wetland* Construído; **WCF**- *Wetland* Construído Final; **MA**- Microalgas e **WCPMA**- *Wetland* Pós-microalgas.

Outro importante parâmetro a ser analisado quando se trata de descontaminação de águas sejam elas residuárias ou não, são os níveis de Coliformes Totais e de *Escherichia Coli* presentes nas amostras dos efluentes estudados, os resultados obtidos (Tabelas 9 e 10) durante as análises podem indicar o potencial contaminante do efluente estudado. Da mesma forma os resultados referentes ao desempenho dos sistemas de tratamento aos qual o afluente foi submetido também podem ser expressos nas tabelas a seguir.

Tabela 9: Dados referentes ao monitoramento de Coliformes Totais durante a configuração III.

	EB	R A	WC	WCF	C	C F	MA	WCPMA
Jul	5,75 x 10 ⁵	3,64 x 10 ⁵	1,0 x 10 ⁵	2,3 x 10 ⁴	2,0 x 10 ⁵	3,1 x 10 ⁵	3,2 x 10 ⁴	1,0 x 10 ²
Ago	3,1 x 10 ⁶	1,72 x 10 ⁶	2,0 x 10 ⁴	2,0 x 10 ³	2,7 x 10 ⁴	1,5 x 10 ⁴	7,0 x 10 ³	1,1 x 10 ²
Set	4,2 x 10 ⁶	3,2 x 10 ⁶	1,78 x 10 ⁵	1,0 x 10 ⁴	3,1 x 10 ⁵	2,0 x 10 ⁴	4,5 x 10 ³	2,1 x 10 ²
Out	3,1 x 10 ⁶	2,0 x 10 ⁶	2,67 x 10 ⁵	2,1 x 10 ⁴	4,2 x 10 ⁵	3,1 x 10 ⁵	2,89 x 10 ⁴	2,08 x 10 ²
Nov	2,5 x 10 ⁵	1,65 x 10 ⁵	1,2 x 10 ⁵	1,76 x 10 ⁴	3,0 x 10 ⁴	2,7 x 10 ⁴	1,2 x 10 ³	1,01 x 10 ²

Dez	$3,4 \times 10^5$	$2,8 \times 10^5$	$2,0 \times 10^5$	$1,23 \times 10^5$	$3,8 \times 10^5$	$2,4 \times 10^5$	$3,45 \times 10^4$	$1,0 \times 10^3$
------------	-------------------	-------------------	-------------------	--------------------	-------------------	-------------------	--------------------	-------------------

* Valores expressos em UFC/100ml, vazão $100 \leq Q < 200 \text{ m}^3 \text{d}^{-1}$.

***EB**- Efluente Bruto; **RA**- Reator Anaeróbio; **C**- Controle; **CF**- Controle Final; **WC**- *Wetland* Construído; **WCF**- *Wetland* Construído Final; **MA**- Microalgas e **WCPMA**- *Wetland* Pós-microalgas.

Os resultados obtidos demonstram ser o sistema integrado WCPMA eficiente na remoção de Coliformes Totais, uma vez que a resolução 128/06 do Consema (CONSEMA 128, 2006) somente estabelece valores máximos em termos de NMP/100mL a partir da vazão de $200 \leq Q < 500 \text{ m}^3 \text{d}^{-1}$, neste caso os valores máximos permitidos ficam na casa de 10^6 NMP/100ml, mesmo tendo uma vazão menor o efluente analisado obteve um índice de remoção maior com o tratamento proposto, já que os valores encontrados não ultrapassaram $1,0 \times 10^3$ NMP/mL.

Altos valores referentes aos índices de coliformes nos corpos d'água são limitadores quanto ao uso e/ou reuso destas águas, portanto um bom desempenho de desinfecção nos tratamentos de efluentes é primordial para qualquer tecnologia seja ela convencional ou descentralizada.

A concentração de *Escherichia coli* é utilizado como indicador de contaminação de águas residuárias principalmente por ser um microrganismo causador de doenças infecciosas aos seres humanos. Por isso, os níveis desta bactéria nos corpos d'água são monitorados com rigor e pode ser considerado fator limitante de qualidade da água. Valores referentes ao monitoramento deste parâmetro podem ser visualizados na Tabela 10.

Tabela 10: Dados referentes aos resultados encontrados nas análises de *E. coli* durante a configuração III.

	EB	RA	WC	WCF	C	CF	MA	WCPMA
Jul	$1,2 \times 10^5$	$1,48 \times 10^5$	$5,0 \times 10^4$	$3,8 \times 10^4$	$3,82 \times 10^5$	$4,92 \times 10^5$	$1,65 \times 10^3$	$1,01 \times 10^2$
Ago	$1,34 \times 10^6$	$1,9 \times 10^6$	$4,0 \times 10^4$	$1,8 \times 10^4$	$3,7 \times 10^4$	$1,2 \times 10^4$	$1,8 \times 10^2$	$1,07 \times 10^2$
Set	$1,0 \times 10^6$	$1,39 \times 10^6$	$5,32 \times 10^5$	$3,8 \times 10^5$	$6,34 \times 10^5$	$2,3 \times 10^5$	$5,33 \times 10^3$	$2,3 \times 10^2$
Out	$2,3 \times 10^6$	$3,35 \times 10^6$	$1,0 \times 10^6$	$6,56 \times 10^5$	$1,34 \times 10^6$	$1,0 \times 10^6$	$3,8 \times 10^4$	$1,0 \times 10^2$
Nov	$1,8 \times 10^5$	$2,3 \times 10^5$	$1,34 \times 10^5$	$4,89 \times 10^4$	$1,76 \times 10^5$	$2,89 \times 10^4$	$1,0 \times 10^4$	$2,25 \times 10^2$

Dez	$3,2 \times 10^6$	$4,2 \times 10^6$	$3,3 \times 10^5$	$2,1 \times 10^5$	$2,8 \times 10^6$	$6,88 \times 10^5$	$4,32 \times 10^3$	$1,12 \times 10^2$
.* Valores expressos em UFC/100mL, vazão $100 \leq Q < 200 \text{ m}^3 \text{d}^{-1}$.								

***EB**- Efluente Bruto; **RA**- Reator Anaeróbio; **C**- Controle; **CF**- Controle Final; **WC**- *Wetland* Construído; **WCF**- *Wetland* Construído Final; **MA**- Microalgas e **WCPMA**- *Wetland* Pós-microalgas.

Os resultados obtidos durante as análises realizadas apontam para uma descontaminação eficiente de *E. coli* através do sistema integrado WCPMA com índices que não ultrapassam a casa de 10^2 UFC/100mL no efluente final.

Como a resolução 128/06 do Consema não estipula valores máximos para a vazão de enquadramento do estudo em discussão, foi adotado como referência a vazão $200 \leq Q < 500 \text{ m}^3 \text{d}^{-1}$ na qual os valores máximos permitidos para efluentes urbanos (domésticos) ficam na casa de 10^6 UFC/100mL.

Assim, através dos resultados obtidos foi possível verificar que o sistema integrado WCPMA apresenta maior eficiência de descontaminação do que os sistemas alternativos testados (WCF e CF), tanto para os dados de Coliformes totais quanto *E. coli*, reforçando a qualidade e eficiência do sistema integrado como alternativa de descontaminação de efluentes urbanos.

Dados referentes aos valores de DQO podem ser visualizados na Figura 35, indicando os resultados obtidos durante as análises realizadas na configuração III.

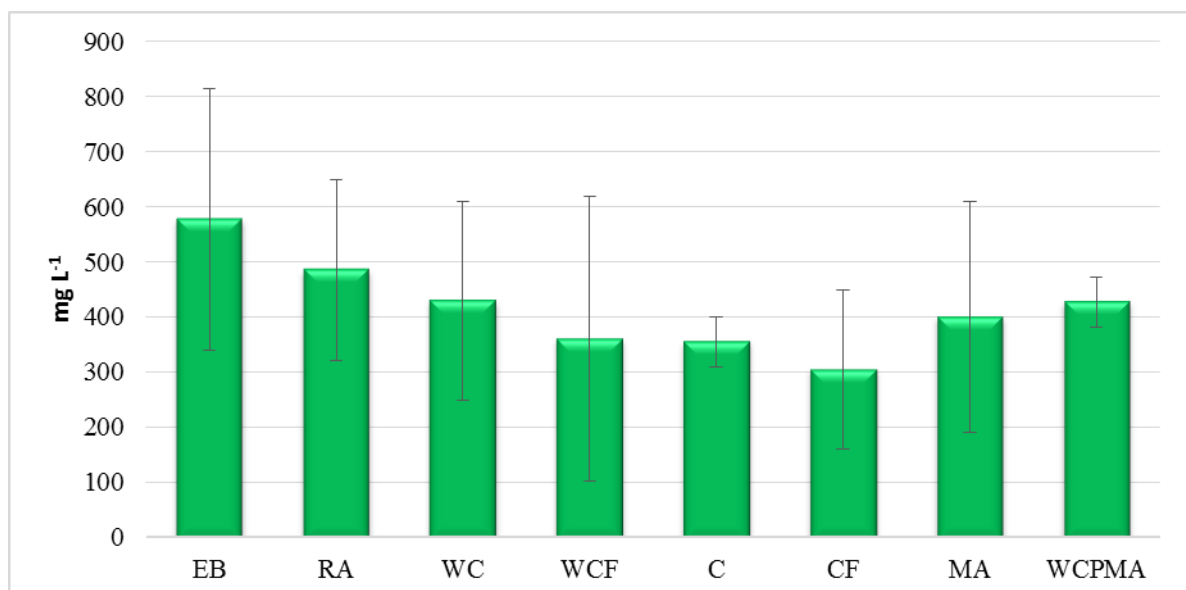


Figura 35: Resultados referentes ao monitoramento de DQO durante a Configuração III.

***EB**- Efluente Bruto; **RA**- Reator Anaeróbio; **C**- Controle; **CF**- Controle Final; **WC**- *Wetland* Construído; **WCF**- *Wetland* Construído Final; **MA**- Microalgas e **WCPMA**- *Wetland* Pós-microalgas.

O desempenho registrado durante o monitoramento das análises de DQO, podem estar diretamente relacionados a alcalinidade do efluente proveniente do tanque das MA, uma vez que inorgânicos em meio alcalino elevam a DQO, a geração de HCO_3^- funciona como agente redutor em combinação com dicromato de potássio.

Desta forma os dados apresentados na Figura 35 eram previsíveis em se tratando de um sistema integrando tecnologias distintas, onde as microalgas têm participação importante na assimilação de CO_2 .

Em contrapartida o seu metabolismo aumenta o pH do meio tornando-o alcalino, esta alcalinidade aumenta a DQO do efluente de saída que serve como carga do WCPMA, como o *Wetland* é composto por apenas uma caixa provavelmente não tempo de detenção hidráulica (TDH) suficiente para reverter esta condição.

Em relação a DBO_5 os resultados demonstram uma redução maior por parte do sistema integrado, determinando uma melhor condição de tratamento do que a observada nos *Wetlands* Construídos (Figura: 36).

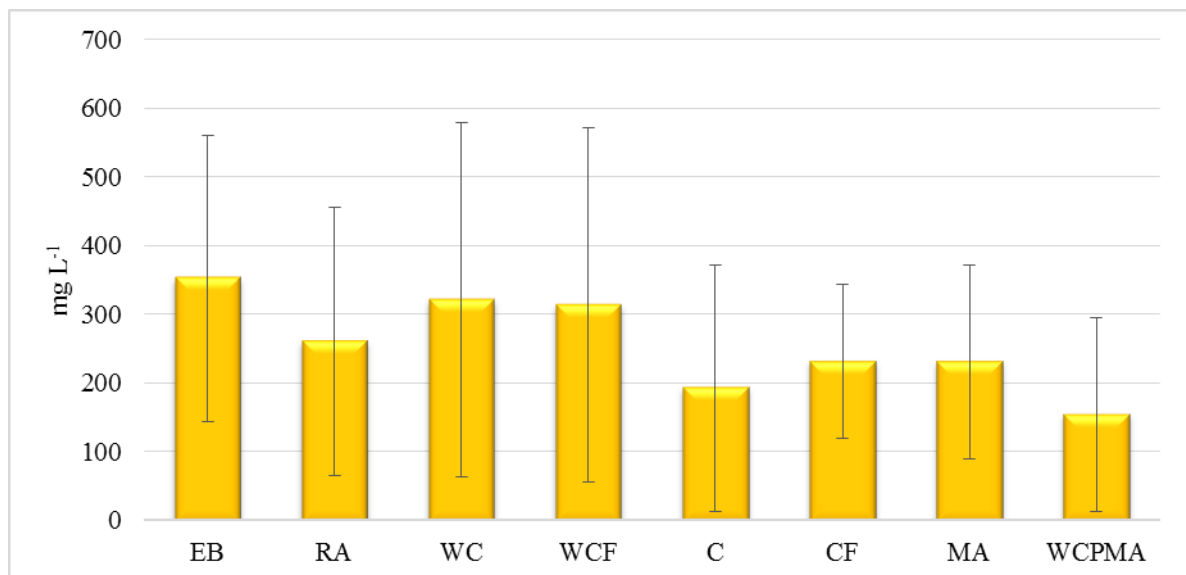


Figura 36: Dados de monitoramento referentes ao desempenho dos sistemas em relação a DBO_5 .

***EB**- Efluente Bruto; **RA**- Reator Anaeróbico; **C**- Controle; **CF**- Controle Final; **WC**- *Wetland* Construído; **WCF**- *Wetland* Construído Final; **MA**- Microalgas e **WCPMA**- *Wetland* Pós-microalgas.

De acordo com os resultados obtidos descritos na Figura 36, o sistema integrado MA+WCPMA obteve melhor desempenho comparado aos dois sistemas de tratamento WCs e

o Controle (C e CF), indicando um fator positivo que pode ser atribuído à interação entre as MA e os WCs, indicando uma evolução quanto ao desempenho deste sistema em relação aos demais.

Dados referentes ao desempenho dos sistemas relacionados a remoção de Fósforo Total podem ser visualizados na Figura 37.

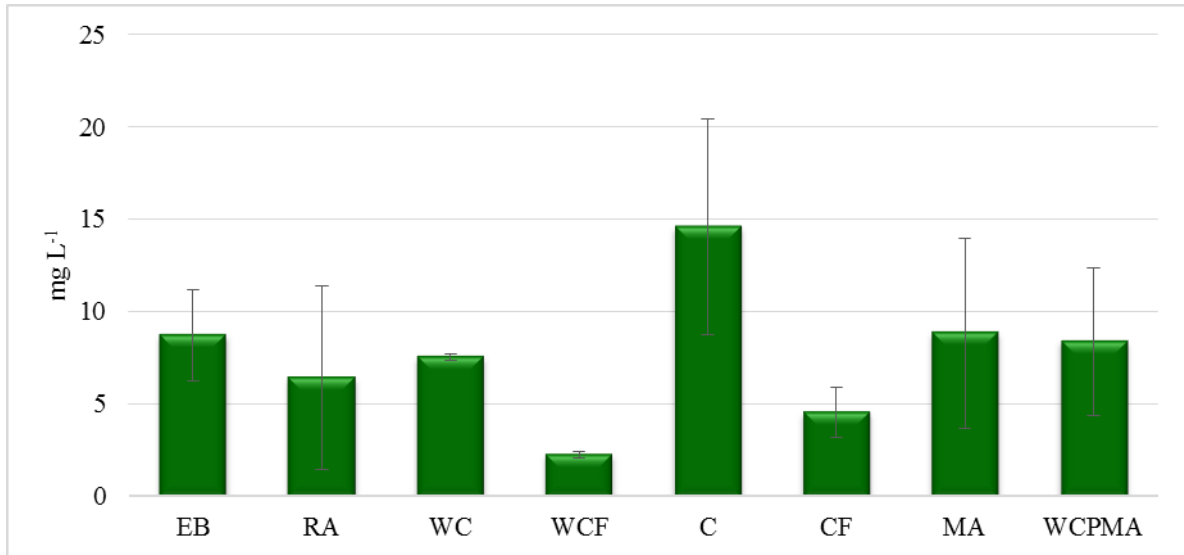


Figura 37: Média e desvio padrão do desempenho dos sistemas relacionados à remoção de Fósforo Total.

***EB**- Efluente Bruto; **RA**- Reator Anaeróbico; **C**- Controle; **CF**- Controle Final; **WC**- *Wetland* Construído; **WCF**- *Wetland* Construído Final; **MA**- Microalgas e **WCPMA**- *Wetland* Pós-microalgas.

Os resultados referentes ao desempenho do P Total demonstraram ser a tecnologia proposta um tanto quanto ineficiente neste primeiro momento, uma vez que os sistemas comparativos obtiveram melhor resultados do que o sistema integrado, isso pode estar relacionado ao ciclo de vida das microalgas, uma vez que durante a fase de decaimento (Morte celular) o conteúdo celular destas microalgas pode vir a adicionar Fósforo ao meio efluente que, posteriormente, serviu de carga para o WCPMA.

Ainda, foi possível observar uma elevada concentração de Fósforo pós-tanque Controle, esta concentração pode ser explicada pelo simples fato de que este tanque é formado por areia e brita e realiza a remoção física, sem remoção por assimilação. Outro fator relevante é o fato do Fósforo não possuir fase gasosa e, portanto, seu volume não é afetado pela evaporação.

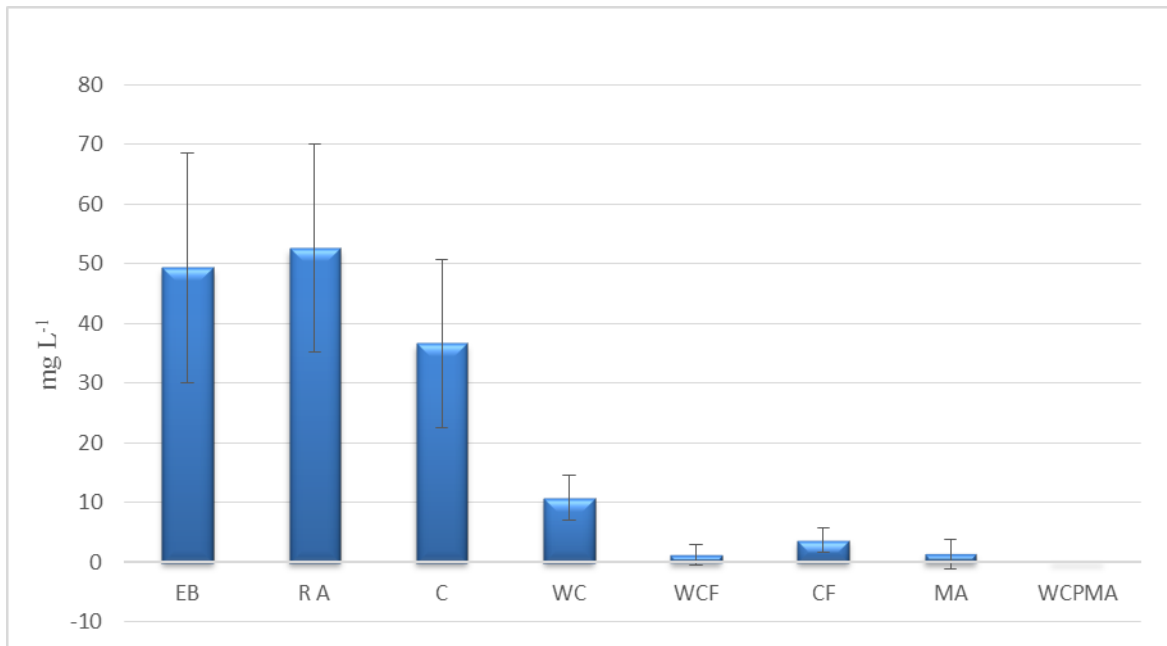


Figura 38: Índices de concentração referentes ao desempenho dos sistemas na remoção de N-NH₃.

***EB**- Efluente Bruto; **RA**- Reator Anaeróbio; **C**- Controle; **CF**- Controle Final; **WC**- *Wetland* Construído; **WCF**- *Wetland* Construído Final; **MA**- Microalgas e **WCPMA**- *Wetland* Pós-microalgas.

O desempenho do sistema integrado demonstrou uma melhor eficiência quando se trata de remoção de N-NH₃, mantendo um cenário que já havia sido observado durante as análises da configuração II, com as adaptações realizadas os resultados foram mantidos e o rendimento do tanque de MA obteve um aumento na remoção com relação a ele mesmo durante a configuração II.

É importante ressaltar que estudos utilizando WCs como principais agentes de fitorremediação, de forma geral, têm apresentado dificuldades na remoção de N-NH₃, necessitando aumentar a área construída para remediar este agente eutrofizante de acordo com a legislação vigente.

Diante deste cenário, o sistema integrando as tecnologias de tratamento Ma+WCPMA demonstrou ser muito eficiente no controle deste agente eutrofizante, tornando o uso desta tecnologia uma possibilidade acessível e promissora.

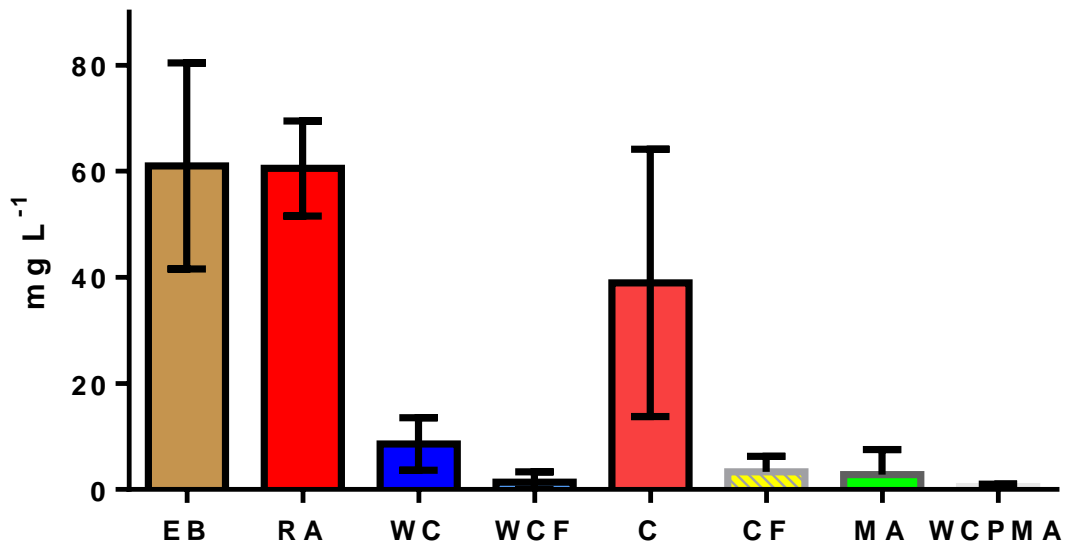


Figura 39: Gráfico representando os resultados referentes as concentrações de NTK.

***EB**- Efluente Bruto; **RA**- Reator Anaeróbio; **C**- Controle; **CF**- Controle Final; **WC**- *Wetland* Construído; **WCF**- *Wetland* Construído Final; **MA**- Microalgas e **WCPMA**- *Wetland* Pós-microalgas.

Os resultados referentes aos níveis de NTK, Figura 38, configuram uma melhor eficiência de remoção relacionada ao sistema MA+WCPMA, em comparação com os demais sistemas observados, também é possível verificar uma melhor atividade de remoção do sistema integrado neste quesito.

Na Figura 40 é possível visualizar os resultados referentes aos índices de Nitrato nos efluentes estudados.

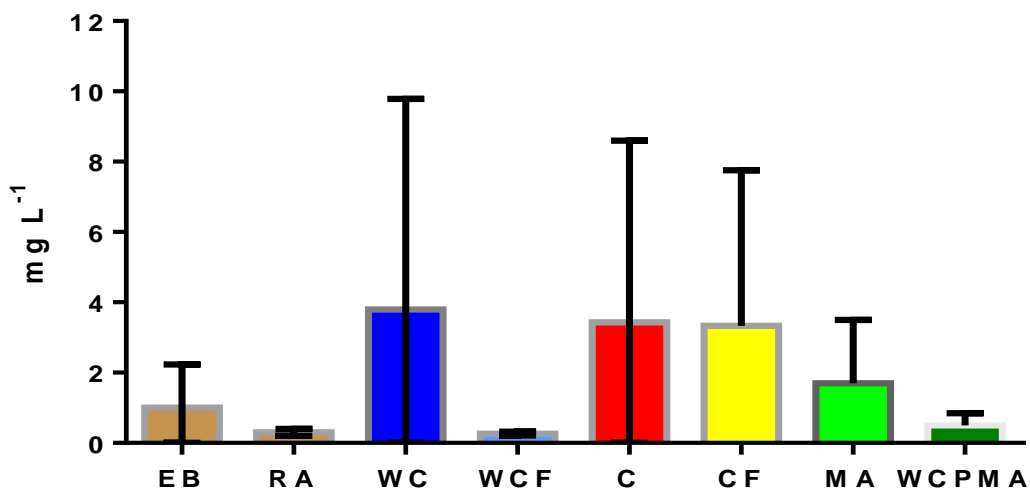


Figura 40: Resultados referentes aos níveis de Nitrato presentes nas análises durante a Configuração III.

***EB**- Efluente Bruto; **RA**- Reator Anaeróbio; **C**- Controle; **CF**- Controle Final; **WC**- *Wetland* Construído; **WCF**- *Wetland* Construído Final; **MA**- Microalgas e **WCPMA**- *Wetland* Pós-microalgas.

Os dados expostos na Figura 40 representam os índices de Nitrato registrados durante o período de desenvolvimento da configuração III, foi possível observar que o sistema integrado apresentou um índice de concentração um pouco maior se comparado ao WCF.

Isso provavelmente esteja relacionado às vias metabólicas de assimilação das microalgas ou até mesmo possa ser um subproduto do desenvolvimento/morte das células das microalgas, seguindo o mesmo caminho discutido no item correspondente aos níveis de Fósforo Total.

Com relação aos índices de Nitritos presentes nas amostras todos os resultados apontaram para uma concentração $< 0,1$, com exceção da unidade de Microalgas que obtiveram índices maiores de concentração deste componente, evidenciando o comportamento descrito anteriormente, podendo ser este um subproduto da rota de metabolismo do Nitrogênio.

Dados físico-químicos são comumente utilizados na avaliação de resultados em pesquisas que envolvem águas residuárias (DUPONT, 2010; HORN, 2011).

O monitoramento destes dados deve obedecer ou seguir os parâmetros pré-determinados na legislação vigente que indica, conforme a vazão e as características do efluente, os volumes máximos permitidos de disposição nos corpos d'água (ANDRADE, 2015; ARANTES, 2014).

Apesar dos referidos serem eficazes na avaliação dos tratamentos relacionados aos efluentes urbanos, estes sozinhos não são capazes de avaliar os níveis de toxicidade presentes nestas águas, para que essa condição possa ser averiguada faz-se necessária a utilização de testes especializados em determinar os níveis tóxicos do efluente.

Assim sendo, ensaios utilizando organismos-teste surgem como uma importante ferramenta complementar aos testes comumente empregados para a determinação da qualidade da água. Testes de Fitotoxicidade, Ecotoxicidade e Genotoxicidade são fundamentais para prospectar reais efeitos de efluentes nos corpos hídricos e seu ecossistema.

Testes de Fitotoxicidade foram realizados durante o presente estudo, os resultados descritos a seguir (Figuras: 41 e 42) correspondem aos índices de germinação e crescimento das raízes de *Lactuca sativa*.

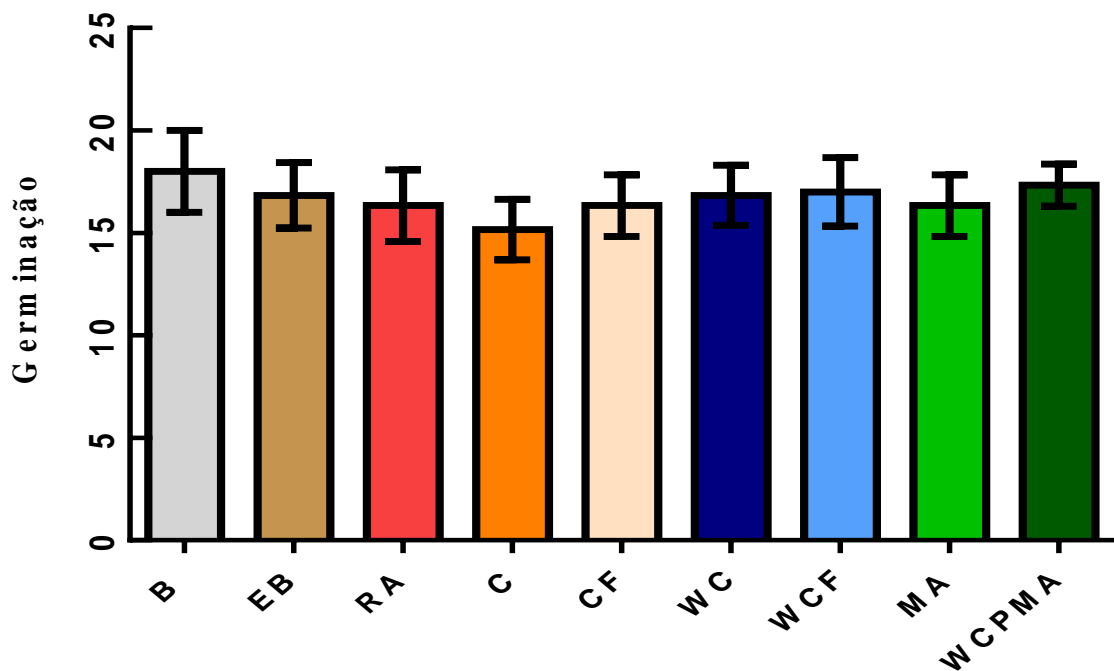


Figura 41: Ensaio de fitotoxicidade referente ao número de sementes germinadas, média e desvio padrão.

***B**- BRANCO; **EB**- Efluente Bruto; **RA**- Reator Anaeróbio; **C**- Controle; **CF**- Controle Final; **WC**- *Wetland* Construído; **WCF**- *Wetland* Construído Final; **MA**- Microalgas e **WCPMA**- *Wetland* Pós-microalgas.

Conforme observado na Figura 41, a germinação das sementes de *L. sativa* manteve uma linha pouco dispersa entre os diferentes tipos de amostragens realizadas, apesar de haver uma pequena variação entre os resultados do Efluente Bruto e dos tratamentos, esta variação não representa fitotoxicidade nas amostras analisadas.

Mesmo assim, foi possível perceber uma melhora, mesmo que pequena, no desempenho na germinação com o tratamento do sistema integrado WCPMA que chegou a 87% de sementes germinadas enquanto que o EB apresentou 84% e o Branco (B) chegou a 90%, demonstrando assim um potencial para fitotoxicidade praticamente nulo.

Rodrigues *et al.* (2013) destaca o uso da *Lactuca sativa* para ensaios de fitotoxicidade e citogenotoxicidade de efluentes urbanos e industriais.

Os autores destacam que o aumento da salinidade, e conseqüentemente a condutividade elevada inibem a germinação, afetando a osmorregulação, levando à falência organelas responsáveis por essa função. A condutividade elétrica da água está estreitamente relacionada com a quantidade de íons nela dissolvidos e por isso reflete sua salinidade.

O comportamento destacado com os trabalhos de Rodrigues *et al.* (2013) não pode ser observado no comportamento dos resultados da Figura 40, porém refletem bem os resultados

da Tabela 8 que indicam uma condutividade de 641,66 para o tanque de microalgas e de 591,35 pós sistema WCPMA.. Este comportamento pode ser observado para todas as outras combinações de processos, sendo que a menor condutividade foi observada com o tratamento CF.

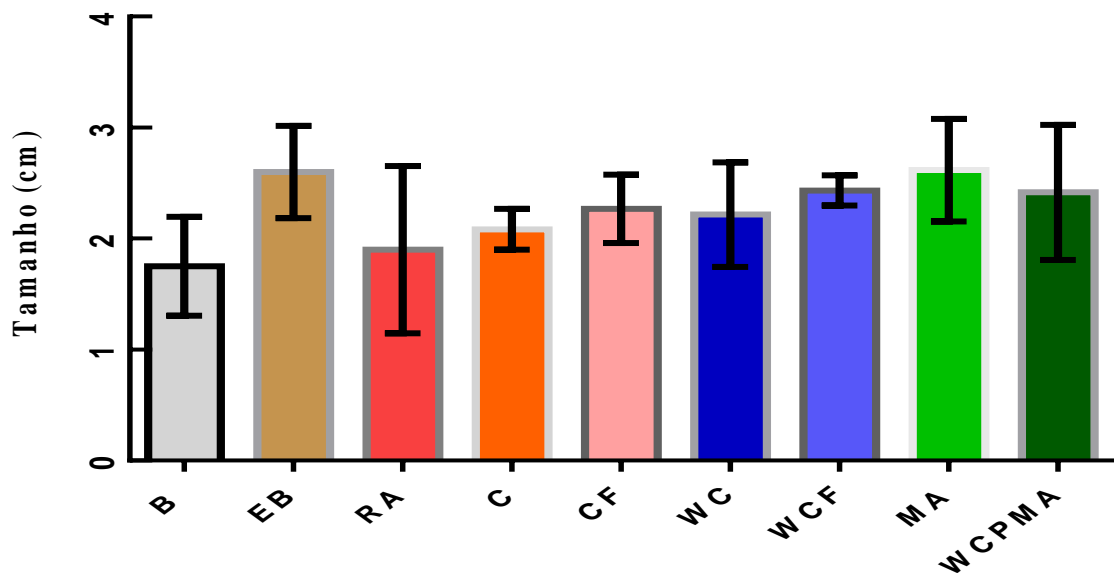


Figura 42: Ensaio de fitotoxicidade com *L. sativa*, média e desvio padrão do crescimento das raízes.

***EB**- Efluente Bruto; **RA**- Reator Anaeróbio; **C**- Controle; **CF**- Controle Final; **WC**- *Wetland* Construído; **WCF**- *Wetland* Construído Final; **MA**- Microalgas e **WCPMA**- *Wetland* Pós-microalgas.

Com relação aos resultados referentes ao crescimento das raízes, foi possível verificar uma similaridade no comportamento dos ensaios não sendo possível atribuir uma diferença entre o EB e os tratamentos. Desta forma, o gráfico apresentado na Figura 42 demonstra que o crescimento das raízes não apresenta toxicidade ou não tem uma ação significativa sobre o organismo teste a ponto de inibir de forma mais severa seu desenvolvimento.

Todavia, quando importamos os dados de germinação para compararmos com o desempenho do crescimento, é possível observar um decréscimo na taxa de desenvolvimento em todos os testes, uma vez que nos ensaios correspondentes ao crescimento das raízes os resultados apontam valores médios de 43%, 65% e 60,5%, para os testes B (Branco); EB (Efluente Bruto) e WCPMA (*Wetland* Construído Pós-Microalgas), respectivamente.

Tabela 11: Resultados das análises de Ecotoxicidade, média e desvio padrão.

AMOSTRAS	CE (I) 50% 48 h	TOXICIDADE RELATIVA %
EB	58,0 ± 6,9	Medianamente tóxico
RA	70,3 ± 4,2	Medianamente tóxico
CF	100	Não apresentaram toxicidade
WCF	100	Não apresentaram toxicidade
MA	88,0 ± 21	Pouco tóxico
WCPMA	100	Não apresentaram toxicidade

***EB**- Efluente Bruto; **RA**- Reator Anaeróbio; **CF**- Controle Final; **WCF**- *Wetland* Construído Final; **MA**- Microalgas e **WCPMA**- *Wetland* Pós-microalgas.

De acordo com os resultados expressos na Tabela 11, o afluente (EB) estudado caracteriza-se por apresentar toxicidade média. Enquanto que nos sistemas de tratamento finais (terciários) aos quais o afluente foi submetido, Controle Final (Filtro Testemunha), *Wetlands* Construídos Final (WCF) e *Wetlands* Construído Pós-Microalgas (WCPMA), apresentaram detoxificação total, portanto, quando se trata de ecotoxicidade utilizando o organismo-teste *Daphnia magna* os resultados indicaram que o sistema integrado foi eficiente na redução da toxicidade do afluente avaliado.

Como observado em estudos anteriores, os *Wetlands* Construídos combinados com pré-tratamento por reator anaeróbio conseguiram obter rendimento de detoxificação total dos efluentes urbanos (SILVEIRA, 2010; HORN, 2010 E ZERWES, 2015). Comprovando a eficiência desta macrófita quando utilizada neste tipo de fitorremediação.

Como os testes físico-químicos tradicionais não conseguem detectar todas as alterações, as aplicações de ensaios toxicológicos vêm sendo cada vez mais indispensáveis na avaliação e monitoramento dos corpos hídricos. Assim sendo, o ensaio cometa tem se mostrado uma importante ferramenta complementar aos testes comumente empregados para a determinação da qualidade da água, visto que detecta alterações mesmo em águas consideradas de boa qualidade pelos mesmos. O ensaio Cometa tem sido aplicado

progressivamente em diferentes campos de estudo, sendo amplamente utilizada em ecotoxicologia (PARK, 2009; HANSEN *et al.*, 2010 ; PRÁ *et al.*, 2005).

Durante a configuração III foram desenvolvidos ensaios de genotoxicidade em dois níveis tróficos, as análises foram realizadas utilizando como organismos-teste o *Allium cepa* e a *Daphnia magna* (Tabela: 12).

Tabela 12: Resultados dos ensaios de Genotoxicidade referentes aos testes com *A. cepa* e *D. magna*, configuração III.

	FD (%)		ID (u.a.)	
<i>Daphnia magna</i>				
CN	61,20 ± 6,50		123,00 ± 17,71	
EB (50%)	90,60 ± 3,21	****	206,40 ± 10,53	****
WCF	85,80 ± 4,82	****	161,80 ± 16,30	**
CF	95,40 ± 2,30	****	194,80 ± 15,93	****
WCPMA	69,80 ± 9,20	ns	112,20 ± 19,68	ns
<i>Allium cepa</i>				
CN	75,80 ± 4,97		129,60 ± 13,50	
EB (50%)	98,20 ± 1,79	****	284,40 ± 14,94	****
WCF	93,20 ± 2,86	***	175,00 ± 10,84	***
CF	95,80 ± 3,96	****	202,60 ± 14,93	****
WCPMA	71,20 ± 10,71	ns	111,00 ± 23,05	ns

Para análise estatística foi utilizada a Análise de Variância (ANOVA) seguida de teste de Dunnett para múltiplas comparações em relação ao CN, sendo adotado o valor de $\alpha = 0,05$. Os dados estão apresentados como média \pm desvio padrão. **FD**: Frequência de dano (expressa em percentual); **ID**: Índice de Dano (expresso em unidades arbitrárias – u.a. e variando de 0 a 400); ns: não significativa; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; **** $p < 0,0001$

CN: Controle Negatvo; **EB**: Efluente Bruto; **WCF**: *Wetland* Construído Final; **CF**: Controle Final (Testemunha) e **WCPMA**: *Wetland* Construído Pós-Microalgas.

Através dos resultados obtidos durante as análises referentes a genotoxicidade dos diferentes tratamentos aplicados e do Efluente Bruto diluído em 50%, foi possível verificar que os tratamentos utilizados como comparativos Controle Final (CF- Filtro Testemunha) e *Wetlands* Construídos Final (WCF) apresentaram genotoxicidade significativa segundo os testes estatísticos aplicados tanto para *A. cepa* quanto com *D. magna*, demonstrando que o efluente urbano estudado apresentou características que podem atribuir toxicidade genética aos organismos que foram expostos a estas águas residuárias mesmo após tratamento por estes dois sistemas.

Assim sendo, estes resultados demonstraram comportamento similar ao descrito por Manzano (2015), que detectou resultados significativos de genotoxicidade em análises realizadas no Ribeirão Tatu em São Paulo/SP, através do ensaio cometa .

Entretanto, o sistema integrado *Wetland* Construído Pós-Microalgas não apresentou genotoxicidade demonstrando ser o mais eficiente no tratamento do efluente em questão, quando se trata de genotoxicidade, desta forma o sistema integrado obteve o melhor resultado em relação aos sistemas analisados.

Finalmente é importante relatar alguns pontos positivos e negativos do desenvolvimento deste projeto piloto.

Como ponto negativo destaca-se os problemas operacionais do sistema como um todo, tanto para o *Wetlands* Construídos quanto para o sistema integrado. Como exemplo podemos citar o entupimento dos encanamentos, este foi um problema persistente a todas as etapas do projeto independente da configuração adotada, assim como os encanamentos as mangueiras de recirculação também tinham de ser desobstruídas semanalmente.

Como ponto positivo, podemos ressaltar principalmente o fato de ser a tecnologia proposta neste estudo inovadora, uma vez que ainda não foram encontrados artigos científicos com tratamento de efluentes integrando Microalgas com *Wetlands* Construídos, além disso, o desempenho apresentado mostrou-se eficiente necessitando apenas de alguns ajustes para a obtenção de resultados ainda mais eficazes.

Ainda é importante mencionar que as condições de ploriferação e crescimento das microalgas oferecidas foram os mais rústicos possíveis, já que neste estudo optou-se por averiguar o desempenho do sistema o mais próximo ao um sistema natural, ou seja, com alguns melhoramentos na configuração do tanque das microalgas, poderemos obter resultados ainda mais promissores no tratamento deste tipo de efluente.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do sistema operacional e as configurações realizadas durante o projeto foram de extrema relevância para o crescimento e melhoramento dos resultados obtidos.

Os valores referentes à remoção de Fósforo não foram considerados eficientes quando comparados com os sistemas analisados, pois embora tenha ocorrido uma redução na caixa WCPMA, esta se mostrou menor do que os WCs.

O que pode parecer uma deficiência na verdade é um dos pontos positivos do sistema integrado, pois quando a comparação dos resultados é realizada entre o sistema integrado MA+WCPMA e o sistema de WCs, é preciso considerar que o sistema de Wetlands Construídos é composto por três caixas totalizando um TDH de 9 dias enquanto que no sistema integrado o TDH é de 6 dias, portanto, esta deficiência relativa pode ser compensada com a otimização de tempo e espaço oferecida pelo sistema integrado

O sistema integrado MA+WCPMA obteve rendimento satisfatório na remoção de Nitrogênio em geral, com ênfase na remoção de N-NH₃ surgindo como uma solução para o tratamento de efluentes ricos em Nitrogênio como o utilizado nos experimentos.

A integração das diferentes tecnologias melhorou os resultados de remoção e polimento dos efluentes urbanos, em um período menor, 6 dias de TDH em vez de 9, em comparação com os Wetlands Construídos e com os filtros “Controle”, demonstrando ser esta tecnologia promissora no tratamento de efluentes urbanos. Fatores como menor utilização de área para dimensionamento e maior eficiência na remoção de N-NH₃ justificam a preferência pelo sistema proposto.

Através dos resultados obtidos durante os ensaios de toxicidade foi possível verificar que apesar dos ensaios de fitotoxicidade e ecotoxicidade terem apontado os efluentes pós-sistemas Controle e *Wetlands* Construídos como não tóxicos estes não foram confirmados após as análises de genotoxicidade, pois estes testes não são capazes de verificar danos a nível celular por exemplo.

Sendo assim, é importante ressaltar que apesar dos sistemas de *Wetlands* Construídos apresentarem resultados eficientes na remoção dos agentes eutrofizantes, estes apresentaram uma relativa desvantagem quando comparados ao sistema integrado WCPMA, já que este tipo de tratamento não foi capaz de eliminar a toxicidade do afluente estudado segundo os ensaios realizados neste trabalho.

A partir dos testes de genotoxicidade foi possível observar que o sistema integrado WCPMA foi o único a obter uma detoxificação total não apresentando toxicidade detectável através do ensaio cometa, sendo este resultado extremamente significativo considerando que a tecnologia proposta por este estudo apresentou resultados extremamente animadores e promissores.

Por fim, o sistema integrado MA+WCPMA surge como uma tecnologia ambiental inovadora e que, com pequenos ajustes, poderá ser utilizada com eficiência em larga escala podendo vir a substituir o sistema de tratamento convencional que além de financeiramente inviável é extremamente impactante aos sistemas naturais.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDELAZIZ, A. E. M. *et al.* **Screening microalgae native to Quebec for wastewater treatment and biodiesel production.** *Bioresource Technology*, 157(0), 140-148. 2014.

ABDEL-RAOUF, N., AL-HOMAIDAN, A. A., IBRAHEEM I. B. M. **Microalgae and wastewater treatment.** *Saudi Journal of Biological Sciences*, 19(3), 257-275. 2012.

ANDRADE, H. H. B. **Avaliação de um Sistema de Tratamento de Águas Residuárias por Wetland Construído com Etapa Aerada.** CLEANER PRODUCTION TOWARDS A SUSTAINABLE TRANSITION. São Paulo – Brazil – May 20th to 22 nd- 2015.

AOAC – Association of Officialanalytical Chemists. **Method 990. n. 12 Official methods of analysis of AOAC International.** 17. ed. Gaithersburg: AOAC International, p. 22-23. 2000.

APHA/AWWA – American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 21. ed. Washington: APHA/AWWA/WEF, 2005.

ARANTES, L. C. RODRIGUES, F. N. ROCHA, C. P. **Avaliação do desempenho da estação de tratamento de esgoto de Córrego Fundo-MG.** In: XII Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais. 2014.

ARBIB, Z.; *et al.* 2014. **Capability of different microalgae species for phytoremediation processes: Wastewater tertiary treatment, CO₂ bio-fixation and low cost biofuels production.** *Water Research*, 49(0), 465-474.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 12713 - **Ecotoxicologia aquática - Toxicidade aguda - Método de ensaio com *Daphnia* spp. (Cladóceras, Crustácea).** Associação Brasileira de Normas técnicas. 3^a ed. 2009.

AUSTIN, D.; NIVALA, J. **Energy requirements for nitrification and biological nitrogen removal inengineered wetlands.** *Ecological Engineering*, v. 35, n. 2, p. 184–192, fev. 2009.

BADHE, N. *et al.* **Role of algal biofilm in improving the performance of free surface, up-flow constructed Wetland.** *Bioresour Technology* 169, 596-604. 2014.

BERTONCINI, E. I. **Tratamento de efluentes e reuso da água no meio agrícola.** *Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária* Junho de 2008.

BICUDO, C. E. M. **Gêneros de microalgas de águas continentais do Brasil (chave para identificação e descrições)** – Segunda edição/ organizado por Carlos E. de M. Bicudo, Mariângela Menezes. – São Carlos: RiMa, p. 502, 2006.

BOELEEE, N.C., *et al.* **Nutrient removal and biomass production in an outdoor pilot-scale phototrophic biofilm reactor for effluent polishing.** *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 172(1), 405-422. 2014.

BORGES, A. C. **Avaliação da remoção e transporte do herbicida ametrina em sistemas alagados construídos.** Tese (Programa de Pós-Graduação em Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

BRENTANO, DÉBORA. M. **Desenvolvimento e aplicação do teste de toxicidade crônica com *Daphnia magna*: avaliação de efluentes tratados de um aterro sanitário.** 2006. 145 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

CAI, T., PARK, S.Y., LI, Y. **Nutrient recovery from wastewater streams by microalgae: Status and prospects.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19(0), 360-369. 2013.

CALHEIROS, C.S. *et al.* **Changes in the bacterial community structure in two-stage constructed wetlands with different plants for industrial wastewater treatment.** *Bioresour. Technology*. 100, 3228-3235. 2009.

CALIJURI, M. L. *et al.* **Tratamento de esgotos sanitários em sistemas reatores UASB/wetlands construídas de fluxo horizontal: eficiência e estabilidade de remoção de**

matéria orgânica, sólidos, nutrientes e coliformes. Engenharia Sanitária e Ambiental. v.14 n.3. 421-430. jul/set 2009.

CHEIRSILP, B., TORPEE, S. **Enhanced growth and lipid production of microalgae under mixotrophic culture condition: Effect of light intensity, glucose concentration and fed-batch cultivation.** Bioresource Technology, 110(0), 510-516. 2012.

CHEN, Y. *et al.* **Effects of plant biomass on denitrifying genes in subsurface-flow constructed wetlands.** Bioresource Technology 157, 341-345. 2014.

CHEN, Y. *et al.* **Effects of dissolved oxygen on extracellular enzymes activities and transformation of carbon sources from plant biomass: implications for denitrification in constructed wetlands.** Bioresource Technology, 102, 2433-2440. 2011.

COLARES, C. J. G.; SANDRI, D. **Eficiência do tratamento de esgoto com tanques sépticos seguidos de leitos cultivados com diferentes meios de suporte.** Ambi-Agua, Taubaté, v. 8, n. 1, p. 172-185, 2013.

CONSEMA _ Conselho Estadual do Meio Ambiente. **Resolução n.128 de 24 de novembro de 2006.** Porto Alegre: Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Sul, 2006.

CONSEMA_. Conselho Estadual do Meio Ambiente. **Resolução n.129 de 24 de novembro de 2006.** Porto Alegre: Diário Oficial do Estado do Rio Grande do Sul, 2006.

COSTA *et al.* **A toxicidade em Ambientes Aquáticos: discussão e métodos de Avaliação.** Quim. Nova, Vol. 31, No. 7, 1820-1830, 2008.

CUNHA, Caroline de Andrade da. **Análise da eficiência de um sistema combinado de alagados construídos na melhoria da qualidade das águas. 2006.** 157 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

DAS, N.; VIMALA, R.; KARTHIKA, P. **Biosorption of heavy metals - An Overview.** Indian Journal of Biotechnology, v. 7, p. 159-169, 2008.

DA SILVA, J.; HEUSER, V.; ANDRADE, V. **Biomonitoramento Ambiental**. Porto Alegre. Genética Toxicológica: p. 167-179; 2003.

DAVIS, R., ADEN, A., PIENKOS, P.T. **Techno-economic analysis of autotrophic microalgae for fuel production**. Applied Energy, 88(10), 3524-3531. 2011.

DE-BASHAN, L. E. AND BASHAN, Y. **Immobilized microalgae for removing pollutants: Review of practical aspects**. Bioresource Technology, 101, 1611–1627, 2010.

DEZOTTI, M. **Processos e técnicas para o controle ambiental de efluentes líquidos**. Rio de Janeiro: E-Papers, 2008.

DEMIRBAS, A., Fatih Demirbas M. **Importance of algae oil as a source of biodiesel**. Energy Conversion and Management, 52(1), 163-170. 2011.

DOUMIT, C. N.; PINOTTI, M. H. **Exopolissacarídeos de Cianobactérias**. Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, v. 25, n.1, p. 43-52, jan./jun. 2004.

DUFRESNE, K., *et al.* **Metal Retention Mechanisms in Pilot-Scale Constructed Wetlands Receiving Acid Mine Drainage**, 10 th International Conference on Acid Rock Drainage and IMWA Annual Conference, 1-10, 2015.

DUPONT, ADRIANA. **Avaliação da eficiência da Estação de Tratamento de Esgoto da Universidade de Santa Cruz do Sul, RS, Brasil**. 2010. 159 f. Dissertação (Programa de PósGraduação em Tecnologia Ambiental) - Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2010.

FAN, J. *et al.* **Intermittent aeration strategy to enhance organics and nitrogen removal in subsurface flow constructed wetlands**. Bioresource Technology, v. 141, p. 117–122, 2013.

FONDER, N; HEADLEY, T. **The taxonomy of treatment wetlands: A proposed classification and nomenclature system**. Ecological Engineering.v.51, 2013. p. 203-211. 2013.

FRENZILLI, G.; NIGRO, M.; LYONS, B. P. **The Comet assay for the evaluation of genotoxic impact in aquatic environments.** Mutation Research. v. 681; p. 80-92; 2009.

GALLINA, P.R. *et al.* **Evapotranspiração através do sistema wetland construído: Estudo de caso na Vinícola Gheller de Guaporé – RS.** 3º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente. Bento Gonçalves, 2012.

GARAY, L.A., BOUNDY-MILLS, K.L., GERMAN, J.B. **Accumulation of high-value lipids in single-cell microorganisms: A mechanistic approach and future perspectives.** Journal of Agricultural and Food Chemistry, 62(13), 2709-2727. 2014.

GIM, G.H., *et al.* **Comparison of biomass production and total lipid content of freshwater green microalgae cultivated under various culture conditions.** Bioprocess and Biosystems Engineering, 37(2), 99-106. 2014.

GRAHAM LE, WILCOX LW. **Algae.** USA: Prentice-Hall Inc., 2000: 640 pp

GSCHLÖBL, T. *et al.* **Constructed wetlands for effluent polishing Of lagoons.** Wat. Res. Vol. 32, No. 9, p. 2639-2645, 1998.

HAMILTON, M. A., RUSSO, R. C., THURSTON, R. V. **Trimmed Spearman-Kärber method for calculation of EC50 and LC values in bioassays.** Burlington Research, 7(11): 114-119. 1979.

HARRINGTON, C., SCHOLZ, M. **Assessment of pre-digested piggery wastewater treatment operations with surface flow integrated constructed wetland systems.** Bioresour. Technology 101, 7713-7723. 2010.

HERNANDO, M. D.; FERNANDÉZ-ALBA, A. R.; TAULER, R.; BARCELÓ, D. **Toxicity assays applied to wastewater treatment.** Talanta, n. 65, p. 358-366, 2005.

HERRERA-MELIÁN, J.A. **Degradation and detoxification of 4-nitrophenol by advanced oxidation technologies and bench-scale constructed wetlands.** Journal of Environmental Management 105, 53-60, 2012.

HORN, T. B. et al. **Constructed wetland and photocatalytic ozonation for university sewage treatment.** Ecological Engineering v. 63, p. 134-141, 2014.

HORN, T. B. **Integração de sistemas wetlands construídos + fotoozonização catalítica no tratamento de efluentes de campus universitário.** Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental, Universidade de Santa Cruz do Sul, p. 157, 2011.

HU, Q. **Industrial production of microalgal cell-mass and secondary products – major industrial species: *Arthrospira (Spirulina) platensis*.** In: RICHMOND, A. Handbook of microalgal culture: biotechnology and applied phycology. Oxford: Blackwell Science, p. 264-272. 2004.

JACOB-LOPES, E.; SCOPARO, C.H.G.; FRANCO, T. T. **Rates of CO₂ removal by *Aphanothece microscopica* Nägeli in tubular photobioreactors.** Chemical Engineering and Processing, v. 47, n. 8, p. 1365- 1373, 2008.

JHA, A. N. **Ecotoxicological applications and significance of the comet assay.** Mutagenesis. v. 23; n. 3; p. 207–221; 2008.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos.** 5. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

KAICK, T.S.V. **Estação de tratamento de esgotos por meio de zona de raízes: uma proposta de tecnologia apropriada para saneamento básico no litoral do Paraná.** 2002. 128f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) Centro Federal de educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2002.

KONNERUP, D. *et al.* **Treatment of fishpond water by recirculating horizontal and vertical flow constructed wetlands in the tropics.** Aquaculture, 313 57–64, 2011.

LAM, M.K., LEE, K.T., MOHAMED, A.R. **Current status and challenges on microalgae-based carbon capture.** International Journal of Greenhouse Gas Control, 10(0), 456-469. 2012.

LANANAN, F. *et al.* **Symbiotic bioremediation of aquaculture wastewater in reducing ammonia and phosphorus utilizing Effective Microorganism (EM-1) and microalgae (Chlorella sp.)** Elsevier, 2014.

LARSDOTTER, K. **WasteWater treatment With microalgae –a literature review.** VATTEN, 62:31–38. 2006.

LEE, R. E. **Phycology.** 2. ed. Cambridge University Press, 645 p. 1989.

LEITE, G.B. *et al.* **Utilization of biodiesel-derived glycerol or xylose for increased growth and lipid production by indigenous microalgae.** Bioresource Technology, 2015.

LI, T., ZHENG, Y., YU, L., CHEN, S. **Mixotrophic cultivation of a Chlorella sorokiniana strain for enhanced biomass and lipid production.** Biomass and Bioenergy. 2014.

LI, Y. *et al.* **A review on removing pharmaceutical contaminants from wastewater by constructed wetlands: design, performance and mechanism.** Sci. Total Environ. 468-469, 908-932. 2014.

LOBO, E. A.; CALLEGARO, V. L. **Avaliação da qualidade de águas doces continentais base em algas diatomáceas epilíticas: Enfoque metodológico.** In: TUCCI, C. E. M. & MARQUES, D. M. (Org.), Avaliação e Controle da Drenagem Urbana. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS. 558p. 2000.

LOBO, E. A. *et al.* **Diatomáceas epilíticas como indicadores da qualidade da água em sistemas lóticos subtropicais e temperados brasileiros.** Santa Cruz do Sul: EDUNISC, 2014.

LOBO, E. A., RATHKE, F. S., BRENTANO, D. M. **Ecotoxicologia aplicada: o caso dos produtores de tabaco na bacia hidrográfica do Rio Pardinho, RS, Brasil.** p. 41-68. In: Etges, V. E., Ferreira, M. A. F. A produção do tabaco: impacto no ecossistema e na saúde humana na região de Santa Cruz do Sul, RS. Santa Cruz do Sul: EDUNISC. 2006.

LU, S., PEI, L., BAI, X. **Study on method of domestic wastewater treatment through new-type multi-layer artificial wetland.** International journal of hydrogen energy 40, 11207 and 11214, 2015.

MATA, T.M., MARTINS, A.A., CAETANO, N.S. **Microalgae for biodiesel production and other applications: A review.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14(1), 217-232. 2010.

MENG, P. *et al.* **How to increase microbial degradation in constructed wetlands: influencing factors and improvement measures.** Bioresource Technology, 157, 316-326. 2014.

MEZZOMO, N. *et al.* **Cultivation of microalgae *Spirulina platensis* (*Arthrospira platensis*) from biological treatment of swine wastewater.** Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 30, n. 1, p. 173-178, 2010.

MÓDENES, A.N. *et al.* **Potencial de biossorção do zinco pela macrófita *Egeria densa*.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 14, n. 4, p. 465-470, 2009.

NIVALA, J. *et al.* **Oxygen transfer and consumption in subsurface flow treatment wetlands.** Ecological Engineering, v. 61, p. 544–554, dez. 2013.

OLIVEIRA, J. M.; AREND, C. O.; GERBER, W. D. **Toxicidade em efluentes industriais.** Centro Nacional de Tecnologias Limpas-CNTL, SENAI/RS, 2011.

OSEM, Y. *et al.* **The effects of plant roots on microbial community structure in aerated wastewater treatment reactors.** Ecological Engineering, 2006.

OTA, M., KATO, *et al.* **Effects of nitrate and oxygen on photoautotrophic lipid production from *Chlorococcum littorale***. *Bioresource Technology*, 102(3), 3286-3292. 2011.

OUELLET-PLAMONDON, C. *et al.* **Artificial aeration to increase pollutant removal efficiency of constructed wetlands in cold climate**. *Ecological Engineering*, v. 27, p. 258–264, 2006.

PACHECO, M. M. *et al.* **Microalgae: Cultivation techniques and wastewater phycoremediation**. *Journal of Environmental Science and Health, Part A* 50, 573–589, 2015.

PARK, K.C. *et al.* **Mixotrophic and photoautotrophic cultivation of 14 microalgae isolates from Saskatchewan, Canada: Potential applications for wastewater remediation for biofuel production**. *Journal of Applied Phycology*, 24(3), 339-348. 2012.

PARK, S. Y.; CHOI, J. **Genotoxic Effects of Nonylphenol and Bisphenol A Exposure in Aquatic Biomonitoring Species: Freshwater Crustacean, *Daphnia magna*, and Aquatic Midge; *Chironomus riparius***. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*; v. 83; p. 463-468; 2009.

PRÁ, D. *et al.* **Environmental genotoxicity assessment of an urban stream using freshwater planarians**. *Mutation Research*: v. 585; p. 79-85; 2005.

PHILIPPI JUNIOR, L.S.; SEZERINO, P.H. **Aplicação de sistemas tipo wetlands no tratamento de águas residuárias: utilização de filtros plantados com macrófitas**. Florianópolis: Ed. do Autor, 2004.

QUINTELAS, C. *et al.* **Biosorption of Cr(VI) by three different bacterial species supported on granular activated carbon - A comparative study**. *Journal of Hazardous Materials*, v. 153, p. 799-809, 2008.

RAI, *et al.* **Constructed wetland as an ecotechnological tool for pollution treatment for conservation of Ganga river**. *Bioresour. Technol.* 148, 535-541. 2013.

RATHA, S.K., PRASANNA, R. **Bioprospecting microalgae as potential sources of "Green Energy"-challenges and perspectives (Review).** Applied Biochemistry and Microbiology, 48(2), 109-125. . 2012.

RAWAT, I.; *et al.* **Dual role of microalgae: Phycoremediation of domestic wastewater and biomass production for sustainable biofuels production.** Applied Energy, 88(10), 3411-3424. 2011.

RODRIGUEZ, L. C. de A. *et al.* **Phytotoxicity and cytogenotoxicity of water and sediment of urban stream in bioassay with *Lactuca sativa*.** Rev. bras. eng. agríc. ambient. vol.17 n.10, p. 1099 -1108, 2013.

ROSSI, F., OLGUÍN, E.J., DIELS, L., De PHILIPPIS, R. **Microbial fixation of CO₂ in water bodies and in drylands to combat climate change, soil loss and desertification.** New Biotechnology. 2014.

ROUSSEAU, D. **Performance of Constructed Treatment Wetlands: Model-Based Evaluation and Impact of Operation and Maintenance Werking Van Aangelegde Zuiveringsmoerassen: Modelgebaseerde Evaluatie En Impact Van.** [s.l.] Ghent University, 2006.

Ruppert, E. E., Barnes, R. D. **Zoologia dos Invertebrados.** Roca, São Paulo, Brasil, 1029 p., 1996.

SAEED, T., SUN, G. **A review on nitrogen and organics removal mechanisms in subsurface flow constructed wetlands: dependency on environmental parameters, operating conditions and supporting media.** J. Environ. Manage 112, 429-448. 2012.

SAEED, T., SUN, G. **A lab-scale study of constructed wetlands with sugarcane bagasse and sand media for the treatment of textile wastewater.** Water Res. 39, 2445-2457. 2013.

SANTIAGO, A. F. **Avaliação do desempenho de lagoas de alta taxa no tratamento de esgoto pré-desinfectado submetidas a diferentes níveis de radiação solar**/Anibal da Fonseca Santiago.-Viçosa, MG, 2013.

SEZERINO, P. H. **Potencialidade dos Filtros Plantados Com Macrófitas (Constructed Wetlands) no Pós-Tratamento de Lagoas de Estabilização sob Condições De Clima SubTropical**. [s.l.] Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

SILVEIRA, DANIELE. **Estudos Fenológicos da macrófita *Hymenachne grumosa* (Magnoliophyta- Poaceae) na aplicação de Wetlands construídos para o tratamento de efluentes secundários de campus universitário**. 2010. 103 f. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental- Mestrado) - Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2010.

SINGH, R.N., SHARMA, S. **Development of suitable photobioreactor for algae production – A review**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16(4), 2347-2353. 2012.

SMITH, V.H., TILMAN, G.D., NEKOLA, J.C. **Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems**. *Environmental Pollution*, 100(1–3), 179-196, 1999.

SOBRERO, M. C.; RONCO, A. **Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga (*Lactuca sativa L.*)**. In:___ MORALES, G. C. **Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas estandarización, intercalibración, resultados y aplicaciones**. Centro internacional de investigaciones para el desarrollo: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), México, 189p. 2004.

SOUSA, J. T. *et al.* **Utilização de wetland construído no pós-tratamento de esgotos domésticos pré-tratados em reator UASB**. Eng. Sanit. Ambient. Rio de Janeiro, n. 4, p. 285-290, v. 9, 2004.

STOTTMEISTER, U. *et al.* **Effects of plants and microorganisms in constructed wetlands for wastewater treatment.** *Biotechnology Advances*, v. 22, n. 1-2, p. 93–117, dez. 2003.

SUN, Y. *et al.* **Enhanced lipid accumulation by *Chlorella vulgaris* in a two-stage fed-batch culture with glycerol.** *Energy and Fuels*, 28(5), 3172-3177. 2014.

TANNER, C. C. *et al.* **Floating treatment wetlands: a new tool for nutrient management in lakes and waterways.** 24th Annual FLRC Workshop, 8-10 February 2011, n. Figure 1, p. 1–12, 2011.

TOMASELLI, L. **The microalgal cell.** In: RICHMOND, A. *Handbook of microalgal Current Opinion in Biotechnology*, n.19, p. 430–436.2008.

TSYDENOVA, O. BATOEV, V. BATOEVA A. **Solar-Enhanced Advanced Oxidation Processes for Water Treatment: Simultaneous Removal of Pathogens and Chemical Pollutants.** *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2015.

VIEIRA, J. S. HENKES, J. A. **Uma análise nos impactos ambientais causados na lagoa da conceição pelo despejo de efluentes.** *Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental*. v.2 , n.2, p. 309-337, 2014.

VILLELA, I. V. *et al.* **Bioensaios para o Monitoramento de Genotoxicidade Ambiental.** Porto Alegre. *Genética Toxicológica*: p. 147-163; 2003.

VON SPERLING, M. **Princípio do tratamento biológico de águas residuárias – introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Belo Horizonte: DESA. v. 1. 2005.

VYMAZAL, J. **Constructed Wetlands for Wastewater Treatment : A Review.** p. 965–980, 2008.

VYMAZAL, J. **Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. Review.** *Water*. 2, p. 530 -549. 2010.

VYMAZAL, J. **Plants used in constructed wetlands with horizontal subsurface flow: a review.** *Hydrobiologia* 674, 133-156. 2011.

WAN, LOY CHU. **Biotechnological applications of microalgae.** Review Article: *IeJSME*: 6 (Suppl 1): S24-S37, 2012.

WANG, J., YANG, H., WANG, F. **Mixotrophic cultivation of microalgae for biodiesel production: Status and prospects.** *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 172(7), 3307-3329. 2014.

WERAGODA, S. K. *et al.* **Tropical Application of Floating Treatment Wetlands.** *Wetlands*, v. 32, n. 5, p. 955–961, 29 ago. 2012.

WINCK, M. *et al.* **Wetlands construídos como alternativa de remediação mais limpa para águas residuárias: estudos de análise de ciclo de vida.** *Revista Brasileira de Saneamento e Meio Ambiente* : Ano XXII, n° 77. 2015 (*No Prelo*).

WU, H. *et al.* **A review on the sustainability of constructed wetlands for wastewater treatment: Design and operation.** *Bioresource Technology*: V. 175, p. 594-601, 2015.

WU, H. *et al.* **Mass balance study on phosphorus removal in constructed wetland microcosms treating polluted river water.** *CLEAN-Soil air Water* 41, 844-850. 2013a.

WU, H. *et al.* **Nitrogen transformations and balance in constructed wetlands for slightly polluted river water treatment using different macrophytes.** *Environ. Sci, pollut. Res.* 20, 443-451. 2013b.

WU, S. *et al.* **Development of constructed wetlands in performance intensifications for wastewater treatment: a nitrogen and organic matter targeted review.** *Water research*, v. 57, p. 40–55, 15 jun. 2014.

YI, N. *et al.* **Eichhornia crassipes Cleans Wetlands by Enhancing the Nitrogen Removal and Modulating Denitrifying Bacteria Community.** *Clean – Soil, Air, Water*, v. 42, n. 5, p. 664–673, 2014.

YUE, D., You, F., Snyder, S.W. **Biomass-to-bioenergy and biofuel supply chain optimization: Overview, key issues and challenges.** *Computers and Chemical Engineering*, 66, 36-56. 2014.

ZERWES, F. V. *et al.* **Avaliação citogenética do tratamento com o processo uasb/biofiltro anaeróbio/wetlands construídos de fluxo subsuperficial (WCFSS) de efluentes de propriedade rural.** *Revista Engenharia e Construção Civil*, v. 2, p. 52-60, 2015.

ZHANG, C. *et al.* **Comparison of effects of plant and bio film bacterial community parameters on removal performances of pollutants in floating island systems.** *Ecological Engineering*, v. 73, p. 58–63, 2014.

ZHANG, L. *et al.* **Effect of limited artificial aeration on constructed wetland treatment of domesticwastewater.** *Desalination*, v. 250, n. 3, p. 915–920, jan. 2010.

8 ANEXOS

MONTHLY CLIMATOLOGICAL SUMMARY for JAN. 2015

NAME: clima CITY: Santa Cruz do Sul STATE: RS
 ELEV: 50 m LAT: 29° 42' 00" S LONG: 52° 24' 00" W

TEMPERATURE (°C), RAIN (mm), WIND SPEED (km/hr)

DAY	MEAN TEMP	HIGH	TIME	LOW	TIME	HEAT DEG DAYS	COOL DEG DAYS	RAIN	AVG WIND SPEED	HIGH	TIME	DOM DIR
1	24.5	28.2	0:30	20.2	23:00	0.0	6.2	47.8	4.2	29.0	23:30	NNW
2	21.7	25.7	17:30	19.2	3:30	0.0	3.4	0.0	4.0	22.5	16:00	W
3	22.9	28.8	17:30	17.7	5:00	0.1	4.7	0.0	2.6	19.3	12:30	E
4	24.7	31.4	16:30	17.4	6:30	0.0	6.4	0.0	3.5	24.1	0:30	SW
5	25.7	32.8	17:30	17.9	6:30	0.0	7.5	0.0	4.8	22.5	18:00	E
6	29.7	36.5	17:00	22.9	7:00	0.0	11.4	0.0	4.2	22.5	10:30	NNW
7	27.3	33.8	14:00	23.8	19:30	0.0	9.0	14.4	3.2	29.0	14:30	NNW
8	23.8	26.4	13:00	22.8	6:30	0.0	5.5	46.6	1.6	19.3	13:30	NNW
9	25.6	34.6	15:30	22.3	4:00	0.0	7.3	34.8	2.1	46.7	16:30	SW
10	27.8	33.4	17:30	23.6	5:00	0.0	9.5	0.0	3.9	25.7	2:30	NNW
11	26.8	33.1	15:30	22.1	7:30	0.0	8.5	8.8	2.3	29.0	17:00	NNW
12	28.5	32.7	18:30	25.2	4:00	0.0	10.2	0.0	4.2	19.3	8:00	SW
13	30.1	37.2	17:00	24.2	00:00	0.0	11.8	0.6	5.1	41.8	00:00	E
14	24.2	29.5	12:00	22.7	23:30	0.0	5.9	30.6	3.9	30.6	3:00	NE
15	23.3	26.4	15:00	22.1	00:00	0.0	5.1	14.2	2.6	24.1	13:00	E
16	25.2	29.3	17:30	21.5	1:30	0.0	6.8	0.0	2.7	14.5	5:30	E
17	25.5	30.1	17:00	23.3	6:00	0.0	7.2	9.6	1.8	17.7	18:00	NE
18	25.9	30.4	18:30	21.9	6:00	0.0	7.7	0.0	4.2	22.5	12:00	E
19	27.9	33.8	17:30	22.4	7:00	0.0	9.6	0.0	2.7	24.1	14:00	NNW
20	24.8	28.3	19:00	21.8	23:30	0.0	6.5	1.6	3.9	37.0	20:30	E
21	22.6	26.7	18:00	18.7	7:30	0.0	4.2	0.8	5.1	30.6	16:00	ESE
22	23.2	27.9	16:30	17.7	7:30	0.0	4.9	0.0	8.4	38.6	14:00	E
23	23.8	29.6	17:00	17.4	7:00	0.0	5.6	0.0	7.1	30.6	16:30	E
24	24.4	32.2	17:30	19.6	7:00	0.0	6.1	7.0	4.2	30.6	21:00	E
25	25.6	31.4	16:00	19.3	7:00	0.0	6.7	0.0	3.1	19.3	14:00	SW
26	26.7	32.4	13:00	23.1	6:00	0.0	8.4	8.2	1.9	38.6	14:30	NW
27	25.8	33.2	12:00	23.1	5:30	0.0	7.5	2.0	3.1	32.2	14:00	NW
28	25.6	32.6	14:30	23.1	6:30	0.0	7.3	33.8	2.7	43.5	15:00	NNW
29	22.9	25.5	16:30	19.9	00:00	0.0	4.6	32.0	3.9	27.4	10:00	E
30	22.3	28.0	16:00	16.9	6:00	0.2	4.2	0.0	6.1	29.0	16:30	E
31	22.9	26.4	13:30	19.2	5:30	0.0	4.6	0.0	5.8	25.7	8:30	E

	25.2	37.2	13	16.9	30	0.3	214.3	292.8	3.8	46.7	9	E

Max >= 32.0: 13
 Max <= 0.0: 0
 Min <= 0.0: 0
 Min <= -18.0: 0
 Max Rain: 47.80 ON 01/01/15
 Days of Rain: 16 (> .2 mm) 13 (> 2 mm) 6 (> 20 mm)
 Heat Base: 18.3 Cool Base: 18.3 Method: Integration

MONTHLY CLIMATOLOGICAL SUMMARY for FEB. 2015

NAME: clima CITY: Santa Cruz do Sul STATE: RS
 ELEV: 50 m LAT: 29° 42' 00" S LONG: 52° 24' 00" W

TEMPERATURE (°C), RAIN (mm), WIND SPEED (km/hr)

DAY	MEAN TEMP	HIGH	TIME	LOW	TIME	HEAT DEG DAYS	COOL DEG DAYS	RAIN	AVG WIND SPEED	HIGH	TIME	DOM DIR
1	25.7	31.1	16:30	21.2	6:00	0.0	7.4	0.0	6.0	27.4	18:00	E
2	27.1	33.2	16:00	21.2	5:30	0.0	8.7	0.0	3.5	22.5	13:30	NNW
3	26.5	32.3	17:00	22.8	3:00	0.0	8.2	0.0	3.9	25.7	18:00	E
4	26.1	31.1	15:30	22.3	7:30	0.0	7.8	0.0	7.4	30.6	19:00	E
5	25.6	30.7	15:30	22.5	4:30	0.0	7.3	0.0	8.7	33.8	16:30	E
6	24.7	29.4	15:00	20.9	3:30	0.0	6.4	0.0	5.3	33.8	15:00	E
7	23.6	29.5	18:00	17.3	6:00	0.1	5.3	0.2	3.7	33.8	22:00	SW
8	24.9	31.5	16:00	17.8	6:00	0.0	6.7	0.0	4.2	29.0	23:00	E
9	26.1	33.5	16:00	20.7	3:30	0.0	7.7	4.8	3.4	25.7	16:00	ENE
10	24.7	33.6	12:30	21.9	6:30	0.0	6.2	24.4	2.4	38.6	14:30	NE
11	24.6	27.5	14:00	22.1	4:00	0.0	5.7	7.0	1.8	14.5	19:00	SSE
12	26.5	31.0	14:30	22.8	5:30	0.0	8.2	0.0	2.6	20.9	15:00	SW
13	26.5	31.6	16:30	22.4	5:30	0.0	8.2	0.0	5.0	29.0	16:30	E
14	24.1	27.9	15:00	21.2	6:00	0.0	5.8	0.0	7.4	35.4	15:30	E
15	24.1	28.4	15:00	20.7	00:00	0.0	5.8	0.0	7.4	30.6	15:30	E
16	23.6	28.6	15:00	19.6	1:30	0.0	5.3	0.0	6.4	29.0	16:30	E
17	24.3	30.2	16:00	19.6	3:30	0.0	6.0	0.0	6.6	27.4	17:00	E
18	25.5	30.9	16:00	20.8	5:30	0.0	7.2	0.0	5.8	24.1	16:00	E
19	24.1	31.2	11:00	21.8	14:00	0.0	5.8	37.6	2.4	27.4	13:30	E
20	22.9	24.9	17:30	21.7	6:00	0.0	4.6	6.8	1.6	14.5	13:00	SSW
21	24.4	28.0	15:00	22.2	2:00	0.0	6.1	2.2	6.4	30.6	19:00	E
22	23.3	26.2	10:00	21.1	6:00	0.0	5.0	4.2	2.7	27.4	12:30	ENE
23	23.8	29.7	14:30	20.2	23:00	0.0	5.5	30.6	2.9	43.5	20:30	NNW
24	24.8	30.9	16:00	18.9	5:00	0.0	6.5	0.0	3.5	24.1	10:30	NNW
25	24.2	32.5	13:30	19.3	5:30	0.0	5.9	26.2	2.7	45.1	15:00	NNW
26	23.4	31.3	13:30	20.3	6:00	0.0	5.1	26.8	2.3	43.5	15:00	ENE
27	24.1	28.9	17:00	20.7	3:00	0.0	5.6	0.2	3.4	32.2	18:30	W
28	22.9	28.4	16:30	17.7	7:00	0.0	4.6	0.2	5.5	27.4	16:30	E

	24.7	33.6	10	17.3	7	0.1	178.5	171.2	4.5	45.1	25	E

Max >= 32.0: 5
 Max <= 0.0: 0
 Min <= 0.0: 0
 Min <= -18.0: 0
 Max Rain: 37.59 ON 19/02/15
 Days of Rain: 13 (> .2 mm) 10 (> 2 mm) 5 (> 20 mm)
 Heat Base: 18.3 Cool Base: 18.3 Method: Integration

MONTHLY CLIMATOLOGICAL SUMMARY for MAR. 2015

NAME: clima CITY: Santa Cruz do Sul STATE: RS
 ELEV: 50 m LAT: 29° 42' 00" S LONG: 52° 24' 00" W

TEMPERATURE (°C), RAIN (mm), WIND SPEED (km/hr)

DAY	MEAN TEMP	HIGH	TIME	LOW	TIME	HEAT DEG DAYS	COOL DEG DAYS	RAIN	AVG WIND SPEED	HIGH	TIME	DOM DIR
1	24.1	30.3	16:30	18.1	6:00	0.0	5.8	0.0	4.5	27.4	17:30	E
2	26.2	31.9	15:30	22.3	4:30	0.0	7.9	0.2	2.4	24.1	11:00	WSW
3	26.7	33.6	14:30	21.8	5:30	0.0	8.3	0.8	2.6	35.4	16:00	W
4	25.9	31.9	15:00	22.6	6:30	0.0	7.6	0.4	1.9	32.2	17:30	WNW
5	26.6	31.9	17:00	22.8	4:00	0.0	8.3	0.0	4.0	27.4	20:30	NNW
6	25.6	29.3	15:30	22.2	00:00	0.0	7.3	0.0	7.1	25.7	20:30	E
7	23.7	28.4	17:00	20.6	6:30	0.0	5.4	0.0	6.4	24.1	10:00	E
8	24.8	30.9	15:30	17.8	5:30	0.0	6.5	0.0	5.6	24.1	15:30	E
9	26.1	31.6	14:30	23.2	6:00	0.0	7.8	1.4	6.1	24.1	13:00	E
10	24.3	28.4	15:30	20.0	00:00	0.0	6.0	9.4	5.8	30.6	16:00	E
11	23.8	30.7	15:30	18.3	3:30	0.0	5.5	0.2	2.9	19.3	12:00	E
12	23.7	29.2	16:00	18.4	6:00	0.0	5.1	0.0	2.7	22.5	16:30	NE
13	24.7	30.5	16:30	18.9	6:30	0.0	6.4	0.0	5.0	30.6	21:30	ENE
14	26.3	33.4	16:30	21.6	7:00	0.0	8.0	0.0	4.0	24.1	21:30	NE
15	25.9	31.8	16:00	22.4	00:00	0.0	7.6	16.0	2.6	33.8	16:30	NNW
16	25.4	31.0	16:00	21.5	7:00	0.0	7.1	0.0	4.7	25.7	18:30	E
17	23.8	29.5	16:30	18.3	6:00	0.0	5.5	0.0	6.0	29.0	21:30	E
18	23.9	29.8	16:30	18.2	7:00	0.0	5.6	0.0	6.4	25.7	11:30	E
19	24.7	31.1	15:30	18.6	7:00	0.0	6.4	0.0	5.6	24.1	20:00	E
20	25.3	34.1	16:30	18.6	7:00	0.0	7.0	3.8	1.6	25.7	20:00	ENE
21	23.2	27.4	14:00	19.9	00:00	0.0	4.9	0.2	4.3	25.7	15:00	E
22	19.3	24.2	16:00	13.7	7:00	0.8	1.8	0.0	2.4	20.9	14:30	W
23	20.6	26.3	15:30	14.3	7:00	0.9	3.2	0.0	3.7	25.7	21:30	E
24	23.4	29.1	16:00	19.2	5:00	0.0	5.1	0.0	2.9	16.1	15:00	E
25	25.6	32.6	15:30	19.6	5:30	0.0	7.2	5.6	2.7	19.3	13:00	NNW
26	20.8	23.3	0:30	17.8	00:00	0.0	2.5	14.6	1.8	17.7	23:00	NNW
27	20.2	24.0	17:30	17.6	1:00	0.2	2.0	0.2	1.4	14.5	22:30	NE
28	20.7	25.2	15:00	15.9	6:00	0.5	3.0	0.0	4.0	25.7	18:00	E
29	22.2	26.7	15:00	19.6	2:30	0.0	3.9	1.2	5.0	25.7	17:00	E
30	22.3	27.0	15:30	19.5	9:00	0.0	4.0	1.2	5.0	25.7	13:30	W
31	22.7	28.7	16:00	18.8	5:30	0.0	4.4	0.0	3.7	24.1	13:30	W

	23.9	34.1	20	13.7	22	2.4	177.1	55.2	4.0	35.4	3	E

Max >= 32.0: 4
 Max <= 0.0: 0
 Min <= 0.0: 0
 Min <= -18.0: 0
 Max Rain: 16.00 ON 15/03/15
 Days of Rain: 14 (> .2 mm) 5 (> 2 mm) 0 (> 20 mm)
 Heat Base: 18.3 Cool Base: 18.3 Method: Integration

MONTHLY CLIMATOLOGICAL SUMMARY for APR. 2015

NAME: clima CITY: Santa Cruz do Sul STATE: RS
 ELEV: 50 m LAT: 29° 42' 00" S LONG: 52° 24' 00" W

TEMPERATURE (°C), RAIN (mm), WIND SPEED (km/hr)

DAY	MEAN TEMP	HIGH	TIME	LOW	TIME	HEAT DEG DAYS	COOL DEG DAYS	RAIN	AVG WIND SPEED	HIGH	TIME	DOM DIR
1	22.1	29.0	16:30	17.2	7:30	0.1	3.9	0.0	1.9	17.7	15:30	NNW
2	21.6	30.3	16:30	14.0	7:00	0.9	4.2	0.0	1.9	16.1	13:30	NNW
3	23.5	32.2	16:00	15.3	7:00	0.5	5.7	0.0	1.3	17.7	16:00	SW
4	23.9	30.4	15:30	17.8	5:30	0.0	5.6	0.0	1.1	12.9	12:30	SW
5	20.1	23.0	0:30	18.3	23:30	0.0	1.8	48.0	1.1	19.3	0:30	ENE
6	19.9	25.2	16:30	15.4	23:30	0.4	2.0	1.0	3.9	29.0	16:30	E
7	18.3	24.2	16:00	12.1	7:00	1.7	1.8	0.0	2.9	25.7	14:30	E
8	19.6	26.9	16:00	12.7	5:30	1.6	2.8	0.0	2.3	17.7	12:30	ENE
9	22.1	29.3	16:00	15.8	7:00	0.5	4.2	0.0	1.8	17.7	15:00	NNW
10	22.3	30.1	17:00	15.9	6:30	0.3	4.3	0.0	1.0	14.5	13:00	SSE
11	22.2	30.6	16:00	15.8	7:00	0.5	4.3	0.2	1.1	14.5	14:00	SW
12	21.4	27.4	16:30	17.1	6:30	0.2	3.4	0.0	3.9	27.4	19:00	E
13	21.6	27.5	16:00	16.4	7:30	0.2	3.6	0.0	3.7	19.3	15:00	E
14	21.8	29.1	14:30	18.4	7:30	0.0	3.5	16.8	1.6	43.5	15:30	E
15	22.6	26.4	17:00	20.4	5:30	0.0	4.3	2.0	1.0	27.4	19:00	ENE
16	23.0	26.9	16:00	20.6	00:00	0.0	4.7	0.2	6.4	27.4	10:30	E
17	22.5	28.9	13:30	19.1	7:00	0.0	4.2	38.4	5.1	43.5	22:00	ENE
18	20.2	24.8	16:00	14.9	00:00	0.4	2.3	0.0	2.6	17.7	4:00	W
19	20.6	27.3	16:00	13.4	7:30	1.4	3.7	0.2	2.4	20.9	10:30	E
20	22.1	24.0	16:30	21.2	00:00	0.0	3.8	27.6	0.8	19.3	5:00	SW
21	21.4	25.6	15:00	17.1	00:00	0.0	3.1	0.0	4.7	29.0	15:30	E
22	18.9	22.9	13:30	14.7	7:30	1.0	1.6	0.0	4.2	27.4	11:00	E
23	19.8	22.8	16:30	17.6	6:30	0.1	1.7	0.0	3.9	22.5	13:00	E
24	20.7	25.7	17:00	18.2	4:00	0.0	2.3	0.0	1.4	22.5	20:30	SW
25	18.4	24.8	15:30	14.2	7:00	1.3	1.5	0.0	1.1	12.9	13:00	NE
26	19.2	26.6	15:00	13.3	5:00	1.5	2.4	0.2	1.3	14.5	15:00	NW
27	19.2	26.7	15:30	13.7	7:30	1.2	2.1	0.2	1.1	14.5	16:30	E
28	19.5	24.3	16:30	15.4	5:00	0.7	1.9	0.0	2.4	20.9	14:00	E
29	18.9	23.1	14:30	14.7	7:00	0.8	1.4	0.0	5.6	30.6	11:30	E
30	17.8	22.2	16:00	15.3	8:00	1.3	0.7	0.0	4.5	24.1	13:00	E

	20.8	32.2	3	12.1	7	16.6	92.9	134.8	2.6	43.5	14	E

Max >= 32.0: 1

Max <= 0.0: 0

Min <= 0.0: 0

Min <= -18.0: 0

Max Rain: 48.01 ON 05/04/15

Days of Rain: 11 (> .2 mm) 5 (> 2 mm) 3 (> 20 mm)

Heat Base: 18.3 Cool Base: 18.3 Method: Integration

MONTHLY CLIMATOLOGICAL SUMMARY for MAY. 2015

NAME: clima CITY: Santa Cruz do Sul STATE: RS
 ELEV: 50 m LAT: 29° 42' 00" S LONG: 52° 24' 00" W

TEMPERATURE (°C), RAIN (mm), WIND SPEED (km/hr)

DAY	MEAN		TIME	LOW	TIME	HEAT	COOL	RAIN	AVG		TIME	DOM DIR
	TEMP	HIGH				DEG	DEG		WIND	SPEED		
1	17.8	23.7	15:30	13.1	2:30	1.7	1.1	0.0	2.3	20.9	21:30	E
2	18.3	21.7	13:30	15.3	7:00	0.8	0.8	11.4	3.4	38.6	23:30	NE
3	18.9	20.7	14:00	16.3	00:00	0.2	0.8	5.0	2.4	53.1	2:30	W
4	14.2	18.5	16:00	10.4	00:00	4.1	0.0	2.4	3.1	19.3	15:30	W
5	13.2	20.6	16:00	7.1	7:30	5.4	0.3	0.0	1.4	12.9	1:00	NNW
6	14.1	21.8	15:30	8.1	7:30	4.8	0.6	0.0	1.6	17.7	15:00	SW
7	13.8	19.3	14:30	8.3	7:30	4.6	0.1	0.2	3.1	24.1	13:00	E
8	15.1	19.7	15:00	9.9	7:30	3.4	0.2	0.0	3.2	22.5	11:00	E
9	18.1	25.3	14:00	11.4	6:30	2.2	2.0	0.2	0.6	11.3	12:30	ESE
10	19.3	22.3	13:30	16.9	00:00	0.2	1.2	11.6	3.2	17.7	9:30	E
11	16.6	19.9	16:00	13.6	00:00	1.9	0.1	13.4	2.4	24.1	10:00	E
12	16.3	21.6	16:00	12.5	7:30	2.5	0.5	0.2	2.4	24.1	11:30	ENE
13	16.9	23.2	15:30	11.2	6:00	2.4	1.0	0.0	2.9	29.0	12:30	E
14	18.6	25.4	16:00	13.2	7:30	1.5	1.8	0.2	1.3	14.5	11:30	E
15	20.3	25.9	16:30	16.0	6:00	0.5	2.5	0.0	1.4	14.5	17:00	E
16	19.7	23.2	14:00	17.0	7:30	0.3	1.7	0.4	0.6	12.9	18:00	E
17	20.4	25.9	15:30	16.9	6:30	0.2	2.3	0.0	2.3	17.7	11:00	E
18	19.9	25.7	14:00	16.5	2:00	0.3	1.9	0.2	1.8	17.7	14:30	ENE
19	20.6	25.6	14:30	17.3	00:00	0.0	2.4	0.0	2.9	19.3	13:30	E
20	20.9	26.7	15:30	16.2	7:00	0.4	3.0	0.2	2.1	17.7	19:00	ENE
21	21.9	28.7	15:00	15.6	6:00	0.5	4.1	0.2	0.5	12.9	20:00	E
22	23.2	30.4	15:00	16.9	6:30	0.2	5.1	0.0	1.3	17.7	21:00	NNW
23	24.0	30.7	13:30	19.3	7:00	0.0	5.7	10.2	3.4	38.6	13:30	WSW
24	20.4	21.9	0:30	19.1	22:30	0.0	2.2	3.8	3.1	20.9	12:30	E
25	20.1	22.3	12:00	18.1	7:00	0.0	1.8	0.0	4.5	22.5	10:00	E
26	18.9	20.4	13:30	17.8	4:00	0.1	0.7	49.6	5.0	30.6	18:00	E
27	17.2	18.9	0:30	14.7	23:30	1.1	0.0	75.8	9.0	38.6	7:00	E
28	15.5	17.2	14:00	14.2	00:00	2.8	0.0	10.0	4.0	27.4	2:00	W
29	13.6	14.2	0:30	12.8	2:30	1.6	0.0	0.2	0.2	6.4	8:00	WSW
30												
31												

	18.2	30.7	23	7.1	5	43.7	43.9	195.3	2.6	53.1	3	E

Max >= 32.0: 0
 Max <= 0.0: 0
 Min <= 0.0: 0
 Min <= -18.0: 0
 Max Rain: 75.79 ON 27/05/15
 Days of Rain: 19 (> .2 mm) 10 (> 2 mm) 2 (> 20 mm)
 Heat Base: 18.3 Cool Base: 18.3 Method: Integration

MONTHLY CLIMATOLOGICAL SUMMARY for JUN. 2015

NAME: clima CITY: Santa Cruz do Sul STATE: RS
 ELEV: 50 m LAT: 29° 42' 00" S LONG: 52° 24' 00" W

TEMPERATURE (°C), RAIN (mm), WIND SPEED (km/hr)

DAY	MEAN TEMP	HIGH	TIME	LOW	TIME	HEAT DEG DAYS	COOL DEG DAYS	RAIN	AVG WIND SPEED	HIGH	TIME	DOM DIR
1	13.2	19.4	15:00	8.2	6:30	5.2	0.1	0.4	1.1	14.5	16:00	E
2	14.4	22.4	16:00	9.0	7:30	4.4	0.5	0.4	1.0	14.5	13:00	NE
3	18.3	26.6	15:30	10.8	5:00	2.4	2.4	0.4	2.1	19.3	11:30	E
4	20.9	26.4	15:00	16.4	8:00	0.2	2.8	0.0	1.0	14.5	16:30	SE
5	19.7	23.7	15:00	16.6	5:00	0.3	1.7	1.0	2.6	32.2	23:00	ENE
6	22.3	28.8	14:30	15.5	7:30	0.4	4.4	0.2	2.9	25.7	14:30	NW
7	22.4	28.4	13:30	16.3	2:30	0.2	4.4	0.0	1.6	19.3	7:00	NNW
8	20.8	25.4	15:00	18.4	23:00	0.0	2.5	0.0	4.8	24.1	3:00	E
9	23.1	30.8	15:30	17.0	7:30	0.1	4.9	0.0	2.1	17.7	22:30	E
10	21.8	24.7	1:30	18.4	23:30	0.0	3.5	20.4	4.8	30.6	5:30	NNW
11	15.3	18.6	0:30	10.9	00:00	3.0	0.0	29.0	2.4	16.1	2:30	E
12	10.5	14.8	16:00	7.2	00:00	7.8	0.0	0.4	1.1	12.9	13:00	ENE
13	12.4	17.8	16:00	7.2	0:30	5.8	0.0	0.2	1.1	17.7	12:00	NNW
14	15.1	19.0	15:30	10.9	00:00	3.3	0.0	0.8	2.3	19.3	14:00	W
15	10.8	14.9	15:00	6.6	8:00	7.5	0.0	0.0	3.9	29.0	14:00	W
16	11.8	19.5	16:00	7.1	00:00	6.6	0.1	0.0	3.1	19.3	0:30	NNW
17	11.4	16.9	14:00	5.7	5:30	6.9	0.0	84.2	0.8	16.1	21:30	SSW
18	11.5	13.6	15:00	7.0	00:00	6.8	0.0	10.2	2.3	19.3	12:30	SSW
19	7.3	12.8	15:00	2.9	7:30	11.0	0.0	0.2	1.8	20.9	15:00	E
20	11.3	19.9	16:00	2.8	7:00	7.1	0.1	0.4	2.1	20.9	2:00	NE
21	16.0	20.7	13:00	12.4	4:00	2.6	0.3	0.6	0.0	6.4	13:00	SW
22	16.8	19.2	13:30	15.2	7:30	0.9	0.0	2.2	0.2	8.0	12:00	N
23												
24												
25												
26												
27	16.7	19.3	13:00	11.0	00:00	0.9	0.1	12.0	1.8	25.7	22:30	W
28	16.4	24.7	16:00	10.9	0:30	3.3	1.3	17.4	2.1	16.1	10:30	SE
29	17.9	21.8	15:00	14.6	7:30	1.1	0.7	16.4	1.1	20.9	00:00	E
30	16.9	17.8	9:30	16.3	6:00	0.5	0.0	7.2	2.7	22.5	0:30	N

	16.0	30.8	9	2.8	20	88.2	29.9	204.0	2.0	32.2	5	NNW

Max >= 32.0: 0
 Max <= 0.0: 0
 Min <= 0.0: 0
 Min <= -18.0: 0
 Max Rain: 84.20 ON 17/06/15
 Days of Rain: 20 (> .2 mm) 9 (> 2 mm) 3 (> 20 mm)
 Heat Base: 18.3 Cool Base: 18.3 Method: Integration

MONTHLY CLIMATOLOGICAL SUMMARY for JUL. 2015

NAME: clima CITY: Santa Cruz do Sul STATE: RS
 ELEV: 50 m LAT: 29° 42' 00" S LONG: 52° 24' 00" W

TEMPERATURE (°C), RAIN (mm), WIND SPEED (km/hr)

DAY	MEAN TEMP	HIGH	TIME	LOW	TIME	HEAT DEG DAYS	COOL DEG DAYS	RAIN	AVG WIND SPEED	HIGH	TIME	DOM DIR
1	14.8	18.2	15:10	11.4	23:25	2.1	0.0	0.0	2.4	17.7	19:50	ENE
2	14.9	19.3	14:50	11.5	0:05	3.5	0.1	0.0	4.2	22.5	12:50	ENE
3	15.8	21.8	12:40	13.7	21:45	2.7	0.2	0.4	4.2	29.0	12:50	W
4	10.7	13.7	0:05	7.6	00:00	7.6	0.0	0.0	5.3	27.4	0:35	W
5	10.2	16.8	15:55	3.7	7:55	8.1	0.0	0.2	3.4	25.7	14:40	E
6	13.6	18.9	14:00	7.8	7:40	4.8	0.0	1.2	1.4	22.5	2:00	NE
7	15.1	16.2	14:25	14.0	2:40	3.2	0.0	20.8	1.1	30.6	6:20	ESE
8	14.8	15.9	16:10	14.1	6:15	3.5	0.0	45.6	0.5	24.1	16:05	ESE
9	15.6	18.1	13:05	14.1	5:10	2.7	0.0	23.2	2.1	16.1	5:30	W
10	16.3	19.9	12:35	11.9	7:50	2.3	0.3	0.2	1.9	22.5	20:30	E
11	17.1	22.0	15:25	13.3	7:20	2.0	0.8	0.0	1.3	14.5	12:35	ESE
12	18.8	23.4	16:30	15.2	4:15	1.0	1.5	4.6	3.4	25.7	14:40	E
13	18.7	21.6	20:55	17.7	6:00	0.1	0.5	57.0	6.1	49.9	5:45	ENE
14	14.4	18.2	0:35	11.8	20:05	3.9	0.0	46.0	3.2	24.1	3:40	WSW
15	11.6	12.1	14:00	10.8	18:30	6.8	0.0	0.0	2.4	19.3	9:25	ENE
16	12.7	14.3	14:55	11.1	7:35	5.6	0.0	1.8	2.3	19.3	10:20	E
17	14.8	18.1	16:15	13.6	0:05	3.5	0.0	6.8	1.6	17.7	12:55	WNW
18	15.4	20.7	15:35	10.8	7:40	3.2	0.4	1.2	3.1	20.9	23:10	ENE
19	19.2	26.9	14:10	16.2	0:25	0.7	1.5	5.4	4.8	45.1	4:30	E
20	15.5	17.7	8:05	12.4	20:20	2.8	0.0	80.6	4.8	27.4	2:20	W
21	12.1	14.6	15:10	10.3	20:20	6.3	0.0	0.4	2.7	17.7	0:35	W
22	12.7	17.1	12:45	9.4	3:15	5.6	0.0	0.0	2.6	20.9	9:55	E
23	12.8	15.6	11:35	8.6	4:15	5.5	0.0	1.2	1.8	20.9	9:35	E
24	14.8	18.2	12:35	12.2	1:55	3.4	0.0	4.2	0.6	11.3	17:55	W
25	16.6	20.4	13:35	12.9	00:00	2.0	0.2	0.2	3.1	25.7	14:55	ESE
26	15.3	18.7	13:45	10.9	2:50	3.0	0.0	0.2	0.5	9.7	22:40	NNE
27	17.0	21.9	12:45	13.1	22:40	1.9	0.6	0.2	1.6	16.1	6:50	E
28	18.4	25.9	13:50	12.3	5:05	1.8	1.9	0.2	1.8	17.7	12:25	E
29	19.6	25.5	13:30	14.9	1:45	0.8	2.0	0.2	1.0	14.5	13:10	ENE
30	21.6	27.9	10:20	15.2	5:30	0.6	3.9	0.0	3.4	24.1	17:05	ENE
31	22.8	29.2	11:45	15.7	4:35	0.3	4.8	0.2	4.2	29.0	18:10	NNW

	15.6	29.2	31	3.7	5	101.1	18.8	302.0	2.7	49.9	13	E

Max >= 32.0: 0

Max <= 0.0: 0

Min <= 0.0: 0

Min <= -18.0: 0

Max Rain: 80.59 ON 20/07/15

Days of Rain: 24 (> .2 mm) 10 (> 2 mm) 6 (> 20 mm)

Heat Base: 18.3 Cool Base: 18.3 Method: Integration

MONTHLY CLIMATOLOGICAL SUMMARY for AUG. 2015

NAME: clima CITY: Santa Cruz do Sul STATE: RS
 ELEV: 50 m LAT: 29° 42' 00" S LONG: 52° 24' 00" W

TEMPERATURE (°C), RAIN (mm), WIND SPEED (km/hr)

DAY	MEAN TEMP	HIGH	TIME	LOW	TIME	HEAT DEG DAYS	COOL DEG DAYS	RAIN	AVG WIND SPEED	HIGH	TIME	DOM DIR
1	19.5	23.8	13:15	15.9	5:05	0.5	1.7	0.0	4.3	29.0	7:40	E
2	24.4	30.0	13:00	15.4	3:20	0.3	6.4	0.0	5.3	32.2	8:00	NNW
3	23.2	25.9	10:40	18.1	00:00	0.0	4.4	10.6	8.5	37.0	15:50	NNW
4	17.7	19.2	13:15	15.9	22:05	0.7	0.1	14.6	5.0	38.6	9:35	E
5	18.3	20.7	16:20	16.3	2:25	0.6	0.6	19.2	5.1	29.0	7:20	ENE
6	24.3	31.7	15:55	17.6	1:05	0.2	6.2	0.0	6.1	30.6	12:15	ENE
7	25.6	29.9	10:25	19.8	7:30	0.0	3.4	0.0	8.5	37.0	9:20	ENE
8	30.0	34.7	14:50	23.2	22:50	0.0	7.0	0.0	5.3	27.4	12:55	NNW
9	25.9	32.3	15:20	19.7	3:05	0.0	7.7	0.0	4.8	29.0	14:10	NE
10	24.9	32.3	13:10	20.7	23:45	0.0	6.7	0.0	6.4	35.4	13:40	ENE
11	20.4	23.3	16:15	18.2	8:30	0.0	2.2	0.8	2.6	24.1	7:35	ENE
12	23.7	31.5	15:00	19.1	3:15	0.0	5.4	0.0	3.4	22.5	15:30	E
13	25.1	29.7	11:40	20.7	00:00	0.0	6.8	0.0	4.2	27.4	5:05	NNW
14	20.9	26.3	13:50	16.4	7:05	0.2	2.8	0.0	2.1	20.9	14:25	ENE
15	18.1	21.4	2:30	16.2	00:00	0.6	0.4	0.8	2.3	25.7	12:05	WSW
16	16.9	18.1	14:20	15.5	1:30	1.4	0.0	6.6	3.7	22.5	10:55	E
17	22.6	28.8	15:40	17.9	0:05	0.0	4.0	0.0	6.6	29.0	9:40	ENE
18	18.3	22.1	8:50	15.5	23:35	0.7	0.7	10.4	1.4	32.2	9:05	W
19	15.3	17.6	14:55	12.1	23:45	3.0	0.0	0.6	2.9	20.9	7:55	W
20	15.2	18.4	13:45	11.8	0:35	2.8	0.0	0.0	2.9	30.6	16:15	E
21	18.3	24.7	15:30	13.0	6:40	1.7	1.7	0.0	4.0	24.1	9:40	E
22	19.2	28.2	14:35	12.3	7:05	1.6	2.4	4.4	2.9	37.0	18:40	SW
23	17.6	21.6	15:45	11.0	23:50	1.4	0.7	0.4	3.4	24.1	14:05	W
24	13.8	17.9	16:15	10.8	7:15	4.5	0.0	0.0	4.7	29.0	14:45	ENE
25	18.0	23.8	15:45	13.6	1:30	1.7	1.4	0.0	4.7	24.1	9:50	ENE
26	16.8	18.9	18:55	14.7	7:10	1.3	0.0	42.4	4.5	37.0	15:10	ENE
27												
28												
29												
30	22.7	31.7	17:20	19.6	23:30	0.0	1.2	0.0	0.6	14.5	00:00	WSW
31	23.6	32.4	17:10	14.1	6:30	0.7	5.9	0.4	1.0	29.0	23:55	SSW

	20.7	34.7	8	10.8	24	24.1	79.9	111.2	4.2	38.6	4	ENE

Max >= 32.0: 4
 Max <= 0.0: 0
 Min <= 0.0: 0
 Min <= -18.0: 0
 Max Rain: 42.39 ON 26/08/15
 Days of Rain: 12 (> .2 mm) 7 (> 2 mm) 1 (> 20 mm)
 Heat Base: 18.3 Cool Base: 18.3 Method: Integration

MONTHLY CLIMATOLOGICAL SUMMARY for SEP. 2015

NAME: clima CITY: Santa Cruz do Sul STATE: RS
 ELEV: 50 m LAT: 29° 42' 00" S LONG: 52° 24' 00" W

TEMPERATURE (°C), RAIN (mm), WIND SPEED (km/hr)

DAY	MEAN TEMP	HIGH	TIME	LOW	TIME	HEAT DEG DAYS	COOL DEG DAYS	RAIN	AVG WIND SPEED	HIGH	TIME	DOM DIR
1	17.4	22.8	0:05	13.2	00:00	1.3	0.5	0.4	8.2	27.4	10:10	ESE
2	15.8	21.5	15:10	9.6	6:25	3.1	0.6	0.2	5.3	33.8	10:45	ENE
3	17.1	22.8	15:55	13.7	7:30	1.9	0.8	0.0	2.3	29.0	20:05	E
4	17.1	21.3	16:15	13.1	23:55	1.7	0.5	0.0	5.1	22.5	12:10	E
5	15.6	20.7	15:20	12.4	0:45	3.0	0.3	0.0	3.1	29.0	18:15	ESE
6	14.7	19.8	17:05	11.4	6:50	3.7	0.1	0.0	1.9	16.1	13:20	W
7	16.1	23.0	16:05	8.4	6:00	3.2	1.0	0.2	3.4	40.2	23:15	E
8	17.1	23.1	16:55	12.7	7:05	2.1	0.9	0.0	2.1	17.7	14:50	SW
9	18.2	25.1	16:00	11.3	6:45	2.1	2.1	0.2	3.5	27.4	20:35	ENE
10	16.4	21.7	9:55	13.3	7:10	2.1	0.2	2.8	2.4	30.6	10:00	SW
11	13.2	17.6	15:10	7.3	00:00	5.1	0.0	0.6	6.1	32.2	13:25	W
12	10.2	16.7	16:25	3.8	5:20	8.1	0.0	0.0	4.7	27.4	23:10	W
13	14.8	22.4	16:20	8.3	6:45	4.4	0.9	0.0	5.3	24.1	0:05	N
14	18.1	25.8	15:45	9.1	6:35	2.5	2.3	0.0	4.7	20.9	20:35	ENE
15	20.3	30.5	15:40	8.7	6:05	2.7	4.7	0.0	3.5	24.1	13:55	NE
16	19.9	27.8	8:55	16.1	00:00	0.5	2.1	11.0	3.4	30.6	8:30	E
17	16.7	18.4	16:20	14.9	4:45	1.6	0.0	60.8	3.7	32.2	4:50	E
18	17.6	19.1	12:05	16.6	7:15	0.8	0.1	5.0	3.1	24.1	11:25	ESE
19	17.7	18.7	18:40	16.8	4:40	0.7	0.0	40.8	2.9	43.5	18:20	ESE
20	17.8	18.7	19:35	16.6	6:30	0.6	0.1	23.2	3.5	40.2	14:15	E
21	19.6	21.6	14:00	18.1	2:35	0.0	1.3	15.8	5.5	41.8	11:20	ENE
22	20.6	24.4	16:35	18.9	5:35	0.0	2.2	40.4	4.8	38.6	13:45	ENE
23	20.3	22.4	17:00	16.9	6:30	0.1	2.1	0.0	4.7	27.4	13:40	E
24	21.9	25.9	15:55	19.5	3:55	0.0	3.6	23.8	4.5	38.6	12:35	ENE
25	20.3	23.1	13:05	17.8	23:35	0.0	2.1	0.2	4.7	33.8	21:35	W
26	17.9	19.4	15:05	17.0	7:05	0.5	0.1	0.0	2.3	19.3	2:05	ESE
27	18.9	22.0	14:35	16.8	7:25	0.4	1.0	0.0	2.4	16.1	9:55	SW
28	17.8	23.3	16:35	12.1	6:40	1.8	1.3	0.0	1.9	16.1	14:25	SE
29	19.4	26.4	15:20	12.9	4:50	1.7	2.8	0.0	2.1	16.1	12:50	SSW
30	17.5	22.9	15:35	12.6	5:20	2.0	1.1	0.0	4.7	29.0	20:25	E

	17.5	30.5	15	3.8	12	57.6	34.7	225.4	3.9	43.5	19	E

Max >= 32.0: 0
 Max <= 0.0: 0
 Min <= 0.0: 0
 Min <= -18.0: 0
 Max Rain: 60.81 ON 17/09/15
 Days of Rain: 15 (> .2 mm) 9 (> 2 mm) 5 (> 20 mm)
 Heat Base: 18.3 Cool Base: 18.3 Method: Integration

MONTHLY CLIMATOLOGICAL SUMMARY for OCT. 2015

NAME: clima CITY: Santa Cruz do Sul STATE: RS
 ELEV: 50 m LAT: 29° 42' 00" S LONG: 52° 24' 00" W

TEMPERATURE (°C), RAIN (mm), WIND SPEED (km/hr)

DAY	MEAN TEMP	HIGH	TIME	LOW	TIME	HEAT DEG DAYS	COOL DEG DAYS	RAIN	AVG WIND SPEED	HIGH	TIME	DOM DIR
1	17.9	24.0	15:55	13.4	2:55	1.9	1.4	0.0	5.5	24.1	16:10	E
2	19.9	24.4	8:35	17.3	5:25	0.2	1.8	20.2	3.2	27.4	15:55	W
3	15.4	19.0	0:05	11.8	00:00	2.9	0.0	0.0	3.9	19.3	11:30	WSW
4	14.0	20.3	16:30	7.6	6:15	4.5	0.2	0.0	2.9	25.7	21:40	ENE
5	16.7	22.5	15:35	11.1	4:30	2.6	1.0	0.0	5.8	32.2	9:15	E
6	21.9	28.5	15:25	15.7	2:55	0.8	4.3	0.6	7.2	32.2	16:55	ENE
7	20.8	24.4	0:05	19.3	22:25	0.0	2.5	128.6	6.1	54.7	00:00	ENE
8	19.8	21.6	1:10	18.5	23:25	0.0	1.5	71.2	7.7	41.8	6:25	NE
9	16.8	19.1	1:50	14.8	22:50	1.5	0.0	35.0	2.9	30.6	15:05	SE
10	15.9	17.6	15:35	14.5	6:30	2.4	0.0	27.0	5.1	30.6	15:50	ESE
11	16.2	17.7	15:25	14.9	6:40	2.1	0.0	26.6	2.4	22.5	0:50	SW
12	16.6	20.6	14:30	14.6	5:50	2.0	0.3	1.0	4.5	29.0	14:35	W
13	17.1	22.9	15:00	11.1	5:25	2.3	1.1	0.2	5.5	30.6	15:30	E
14	20.6	27.7	14:15	15.3	5:45	0.8	3.1	30.6	6.8	43.5	22:25	ENE
15	20.6	23.4	18:05	18.2	00:00	0.0	2.3	49.8	4.3	51.5	6:40	NNW
16	18.4	22.2	16:40	14.2	5:55	0.8	0.9	0.0	3.7	35.4	21:45	SW
17	15.7	17.8	17:00	12.3	00:00	2.6	0.0	0.2	4.5	24.1	20:35	E
18	14.6	20.2	15:40	8.2	5:55	4.0	0.2	0.0	6.1	29.0	13:30	E
19	18.7	24.8	15:50	13.1	5:05	1.7	2.1	0.0	4.3	22.5	10:10	E
20	24.2	30.1	16:15	18.7	3:45	0.0	5.9	0.0	4.0	27.4	0:30	ENE
21	19.3	24.1	0:05	16.1	23:10	0.5	1.5	53.4	7.2	43.5	22:15	E
22	18.8	22.9	15:15	15.6	3:15	0.9	1.3	0.0	1.8	19.3	14:50	E
23	20.8	26.1	15:55	17.1	23:55	0.1	2.6	0.2	5.5	33.8	21:15	E
24	17.4	21.0	13:45	14.5	22:50	1.4	0.5	0.0	7.4	37.0	15:45	E
25	16.8	20.3	15:00	13.1	5:35	1.9	0.4	0.0	3.7	22.5	10:05	ENE
26	21.4	26.3	14:10	15.9	1:35	0.5	3.6	0.0	1.6	17.7	10:45	ENE
27	22.4	27.0	17:30	19.6	5:55	0.0	4.1	0.0	2.6	19.3	22:35	SW
28	22.4	27.1	16:35	19.8	4:30	0.0	4.1	0.0	3.7	22.5	18:35	E
29	25.8	33.8	15:40	17.9	4:50	0.0	7.5	0.0	6.9	37.0	21:00	ENE
30	25.4	29.9	13:20	20.9	5:35	0.0	7.1	5.2	3.4	25.7	19:25	ENE
31	20.3	22.3	15:25	18.1	23:55	0.0	2.0	1.2	4.5	25.7	19:25	ESE

	19.1	33.8	29	7.6	4	38.2	63.5	451.0	4.7	54.7	7	E

Max >= 32.0: 1
 Max <= 0.0: 0
 Min <= 0.0: 0
 Min <= -18.0: 0
 Max Rain: 128.60 ON 07/10/15
 Days of Rain: 16 (> .2 mm) 10 (> 2 mm) 9 (> 20 mm)
 Heat Base: 18.3 Cool Base: 18.3 Method: Integration

MONTHLY CLIMATOLOGICAL SUMMARY for NOV. 2015

NAME: clima CITY: Santa Cruz do Sul STATE: RS
 ELEV: 50 m LAT: 29° 42' 00" S LONG: 52° 24' 00" W

TEMPERATURE (°C), RAIN (mm), WIND SPEED (km/hr)

DAY	MEAN TEMP	HIGH	TIME	LOW	TIME	HEAT DEG DAYS	COOL DEG DAYS	RAIN	AVG WIND SPEED	HIGH	TIME	DOM DIR
1	18.6	20.7	15:05	16.8	4:35	0.4	0.6	0.0	8.7	30.6	15:25	ESE
2	18.7	20.5	16:35	16.8	4:35	0.4	0.7	0.2	6.1	27.4	12:05	E
3	20.8	25.1	14:35	17.2	5:35	0.2	2.7	1.6	2.4	14.5	3:10	E
4	18.9	20.4	0:05	15.6	23:35	0.3	1.0	12.0	7.1	30.6	22:40	ESE
5	15.9	17.7	17:15	14.7	23:55	2.3	0.0	54.0	6.1	30.6	0:55	ESE
6	17.3	22.3	16:35	13.1	2:10	1.9	0.9	0.2	4.7	29.0	16:25	E
7	18.6	24.6	16:20	11.9	1:55	1.9	2.1	0.0	5.3	27.4	13:55	E
8	22.8	29.4	15:30	15.7	6:10	0.4	4.9	0.0	3.4	29.0	13:30	ENE
9	25.4	31.2	17:10	18.8	5:25	0.0	7.1	0.0	4.0	29.0	21:25	ENE
10	22.8	26.1	16:50	20.8	10:20	0.0	4.5	62.4	3.2	30.6	14:45	NE
11	22.9	27.1	16:40	20.3	2:50	0.0	4.4	1.0	1.9	25.7	23:15	E
12	22.6	26.3	13:30	20.3	5:30	0.0	4.3	1.0	5.0	33.8	18:45	ENE
13	24.8	31.2	16:20	20.5	6:45	0.0	6.5	11.6	8.0	41.8	7:35	NW
14	20.2	25.2	13:55	13.9	00:00	0.3	2.2	0.0	4.7	25.7	13:25	W
15	20.3	26.5	11:45	12.7	2:25	0.9	2.9	0.0	6.8	30.6	13:35	E
16	20.2	24.1	10:00	16.5	3:00	0.3	2.1	8.4	4.0	27.4	6:10	ENE
17	21.4	24.1	17:30	18.9	1:10	0.0	2.6	7.4	2.9	30.6	19:40	ENE
18	24.1	27.7	14:35	21.2	0:20	0.0	5.7	0.0	1.8	16.1	13:05	SW
19	22.7	30.0	14:15	17.5	23:35	0.0	4.4	34.6	3.5	53.1	18:05	SW
20	18.9	22.5	13:30	14.3	00:00	0.7	1.3	4.2	4.7	33.8	11:30	WSW
21	18.1	24.3	17:40	11.4	6:15	2.1	1.9	0.2	4.8	27.4	15:15	E
22	21.9	28.9	17:15	14.7	6:45	0.7	4.3	0.0	3.4	25.7	23:30	SW
23	21.1	25.6	14:10	16.8	5:45	0.2	2.9	0.0	8.9	38.6	14:10	ESE
24	19.8	22.4	16:40	17.6	4:25	0.1	1.6	0.0	8.7	33.8	18:00	E
25	21.5	25.3	14:20	17.9	6:40	0.0	3.2	0.0	8.0	27.4	19:00	E
26	23.4	29.7	15:15	19.4	5:25	0.0	5.1	0.6	6.1	22.5	10:40	ENE
27	24.3	27.9	17:45	21.2	5:15	0.0	6.0	0.8	3.2	22.5	0:50	ENE
28	24.6	28.7	17:10	21.3	23:25	0.0	6.3	0.0	4.8	27.4	21:40	W
29	22.0	27.8	16:45	16.4	6:05	0.2	3.9	0.0	3.5	24.1	21:35	SW
30	20.7	26.8	16:50	12.8	6:45	1.0	3.4	0.0	6.6	29.0	20:00	E

	21.2	31.2	13	11.4	21	14.3	99.8	200.2	5.1	53.1	19	E

Max >= 32.0: 0

Max <= 0.0: 0

Min <= 0.0: 0

Min <= -18.0: 0

Max Rain: 62.41 ON 10/11/15

Days of Rain: 16 (> .2 mm) 8 (> 2 mm) 3 (> 20 mm)

Heat Base: 18.3 Cool Base: 18.3 Method: Integration

MONTHLY CLIMATOLOGICAL SUMMARY for DEC. 2015

NAME: clima CITY: Santa Cruz do Sul STATE: RS
 ELEV: 50 m LAT: 29° 42' 00" S LONG: 52° 24' 00" W

TEMPERATURE (°C), RAIN (mm), WIND SPEED (km/hr)

DAY	MEAN TEMP	HIGH	TIME	LOW	TIME	HEAT DEG DAYS	COOL DEG DAYS	RAIN	AVG WIND SPEED	HIGH	TIME	DOM DIR
1	20.9	26.4	17:05	15.7	5:25	0.5	3.2	13.8	4.7	22.5	10:56	E
2	21.4	23.8	16:55	19.5	3:35	0.0	3.1	20.0	4.0	30.6	21:00	E
3	22.9	28.6	18:20	19.6	1:50	0.0	4.6	1.2	4.5	22.5	18:45	E
4	24.4	28.8	17:40	21.9	3:05	0.0	6.1	0.0	2.3	24.1	13:15	NW
5	25.2	30.4	15:45	21.0	6:25	0.0	6.9	0.0	5.1	24.1	13:40	SW
6	22.2	27.3	18:40	18.0	6:30	0.0	3.9	0.0	4.5	25.7	16:20	ENE
7	20.6	27.1	17:40	13.9	6:50	0.9	3.2	0.0	4.8	33.8	21:45	E
8	23.6	32.1	17:35	15.6	5:50	0.6	5.9	0.0	5.3	24.1	20:40	ENE
9	24.4	32.9	11:50	20.7	19:00	0.0	6.1	28.6	3.1	32.2	13:35	NNW
10	24.4	30.2	17:30	20.3	6:10	0.0	6.1	7.6	4.2	30.6	23:10	SW
11	25.2	31.6	16:45	17.4	6:40	0.1	7.0	0.0	2.7	17.7	14:45	ENE
12	27.9	34.7	17:00	20.6	4:25	0.0	9.6	0.0	3.2	20.9	22:15	N
13	24.0	27.8	19:00	20.3	5:55	0.0	5.7	11.8	4.3	40.2	2:55	W
14	22.1	23.3	9:45	20.8	5:55	0.0	3.8	14.0	2.9	61.2	23:25	ENE
15	23.8	28.2	16:35	20.9	2:35	0.0	5.5	1.6	3.4	22.5	22:30	W
16	23.1	28.1	17:35	17.8	6:15	0.0	4.9	0.0	6.6	29.0	17:25	E
17	27.3	34.8	16:40	19.4	6:50	0.0	9.0	0.0	3.1	19.3	5:00	ENE
18	24.4	30.6	11:50	21.6	23:15	0.0	6.2	23.6	4.0	45.1	13:10	NNW
19	21.7	23.6	11:25	20.1	23:55	0.0	3.4	0.4	3.5	24.1	23:10	ENE
20	21.5	25.3	17:20	17.5	6:40	0.1	3.2	0.0	6.8	29.0	10:45	E
21	21.4	24.0	13:10	18.9	5:35	0.0	3.1	7.0	3.1	41.8	17:35	ENE
22	22.3	25.6	15:05	20.8	6:30	0.0	4.0	20.0	3.2	32.2	20:25	ENE
23	21.9	23.0	10:25	21.4	5:00	0.0	1.6	56.0	2.1	22.5	9:00	ESE
24												
25												
26												
27	28.3	31.2	16:20	25.2	23:55	0.0	3.4	0.0	7.1	30.6	23:05	ENE
28	27.2	31.5	14:45	23.4	5:20	0.0	8.9	0.0	5.8	33.8	17:10	E
29	27.2	33.2	15:40	23.7	6:50	0.0	8.9	5.0	4.0	25.7	8:05	ENE
30	27.1	31.0	16:10	23.9	5:35	0.0	8.6	1.2	2.7	22.5	15:00	NNW
31	27.0	30.5	18:15	23.4	23:15	0.0	8.7	0.4	5.6	30.6	20:05	SW

	24.1	34.8	17	13.9	7	2.2	154.6	212.2	4.2	61.2	14	E

Max >= 32.0: 5
 Max <= 0.0: 0
 Min <= 0.0: 0
 Min <= -18.0: 0
 Max Rain: 56.01 ON 23/12/15
 Days of Rain: 16 (> .2 mm) 11 (> 2 mm) 3 (> 20 mm)
 Heat Base: 18.3 Cool Base: 18.3 Method: Integration