

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

CAMPUS LONDRINA

CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

THIAGO MORESCHI

**ANÁLISE DA VARIAÇÃO DA TAXA DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL
EM UM SISTEMA FRANCÊS DE WETLAND CONSTRUÍDO**

Trabalho de Conclusão de Curso

LONDRINA

2021

THIAGO MORESCHI

**ANÁLISE DA VARIAÇÃO DA TAXA DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL
EM UM SISTEMA FRANCÊS DE WETLAND CONSTRUÍDO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Câmpus* Londrina, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Orlando de Carvalho Junior

LONDRINA

2021

TERMO DE APROVAÇÃO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO - TCC

ANÁLISE DA VARIAÇÃO DA TAXA DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL EM UM SISTEMA FRANCÊS DE WETLAND CONSTRUÍDO

Por

THIAGO MORESCHI

Monografia apresentada às 16 horas do dia 11 de Fevereiro de 2021 como requisito parcial, para conclusão do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação e conferidas, bem como achadas conforme, as alterações indicadas pela Banca Examinadora, o trabalho de conclusão de curso foi considerado APROVADO.

Banca examinadora:

Joseane Débora Peruço Theodoro	Membro
Ricardo Nagamine Costanzi	Membro
Orlando de Carvalho Junior	Orientador
Orlando de Carvalho Junior	Professor(a) responsável TCCII

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus pelo conforto e resiliência em todo o percurso da graduação, muitas vezes nos encontramos fadigados e desgastados mas com fé e perseverança é possível alcançar o tão sonhado diploma. Aos meus pais, Nivaldo Moreschi e Elizabete Ortiz de Lima, e meu irmão, Fabio Moreschi, por todo apoio e sacrifício para que essa jornada pudesse se realizar, quero agradecer também, minhas tias, Sonia Moreschi e Vera Moreschi e meu tio Onides Moreschi por todo carinho, cuidado e ajuda que me proporcionaram durante todos esses anos, sem esse alicerce familiar as coisas teriam sido muito mais penosas em diversos aspectos.

A todos os meus professores, orientadores, mestres, que de alguma forma participaram da minha jornada acadêmica e pessoal em busca do esperado diploma de Bacharel em Engenharia Ambiental, em especial ao meu orientador Orlando de Carvalho Junior, qual sem ajuda, amizade e profissionalismo não teria realizado esse trabalho. Aos meus queridos professores Tatiane Cristina Dal Bosco, cujo as palavras de incentivo sempre tão cuidadosas, me motivaram a almejar o melhor. A Claudia Eugenio Castro Bravo, que muito mais do que uma professora que me guiou academicamente, se tornou uma estimada amiga, confidente, conselheira e incentivadora. Sem o importante papel de vocês essa jornada não teria me proporcionado momentos tão enriquecedores.

Aos meus amigos e colegas de faculdade que me ajudaram com toda paciência e carinho desse mundo, em especial a Gabriela Braganceiro, Janaina Casado, Arlete Alves, Vitória Califani, Thais C. Camargo, Gustavo S. Ferro, Johvanny L. Mendonça, Higgor H. D. Goes, Rodrigo Dessanti e Fernando Pillon, muito obrigado pelo apoio e incentivo, por diversas vezes broncas, quais foram essenciais para culminar neste momento, sem menciona-los esse texto não teria sentido.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma participaram desta jornada e principalmente levo-os no coração, certo de que, a amizade de vocês prevalecera diante dos diversos caminhos da vida.

A todos meu muito obrigado.

RESUMO

MORESCHI, THIAGO. **Análise da variação da taxa de aplicação superficial em um sistema Francês de Wetland Construído**. 2021. 67 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2021.

Diante das possibilidades de tratamento de diferentes tipos de efluentes por sistemas de *wetlands* construídos de fluxo vertical (WCFV), buscou-se, neste trabalho, avaliar a influência de taxa de aplicação superficial na eficiência de remoção de matéria orgânica e nutrientes, constituintes do esgoto de um restaurante universitário. Buscando avaliar as eficiências de um sistema de WCFV – Modelo Francês (WCFV^F), o presente trabalho foi realizado em um sistema em escala piloto de forma intermitente, operando com dois estágios em paralelo, variando-se a taxa de aplicação em 2, 6 e 8 pulsos por dia, com duração de 1 minuto cada e vazão de 0,025 m³ por minuto. Para favorecer processos de nitrificação e desnitrificação o sistema funcionou com nível de saturação do maciço filtrante em 0,25m. Os parâmetros analisados neste trabalho foram, pH e Alcalinidade, Série Nitrogenada, Fósforo e demanda química de oxigênio (DQO). Observou-se no sistema redução dos parâmetros, chegando 99% de remoção de matéria orgânica (DQO). Observou-se, já no primeiro estágio do sistema, uma redução na carga aplicada de nitrogênio total de até 62%, seguido de uma redução de até 94% no segundo estágio. Observou-se, ainda, uma redução de cerca de 50% no primeiro estágio e de até 91% no segundo estágio do sistema para o parâmetro fósforo total, considerando as condições da taxa superficial de aplicação. Verificou-se por fim que, nas condições operacionais adotadas, o aumento da taxa de aplicação superficial não influenciou a eficiência global do sistema na remoção de matéria orgânica e nutrientes.

Palavras chave: *Wetland* Construído; Sistema Francês, Taxa de aplicação superficial, Remoção de nutrientes.

ABSTRATC

MORESCHI, THIAGO. **Analysis of the variation in the rate of surface application in a French Built Wetland system.** 2021. 67 p. Course Conclusion Paper (Bachelor of Environmental Engineering) - Federal Technological University of Paraná, Londrina, 2021.

Given the possibilities of treating different types of effluents by vertical flow constructed wetland systems (WCFV), this work sought to evaluate the influence of surface application rate on the efficiency of removing organic matter and nutrients, constituents of the sewage of a university restaurant. Seeking to evaluate the efficiencies of a WCFV system - French Model (WCFVF), the present work was carried out in a pilot scale system in an intermittent manner, operating with two stages in parallel, varying the application rate in 2, 6 and 8 pulses per day, lasting 1 minute each and flow rate of 0.025 m³ per minute. In order to favor denitrification nitrification processes, the system worked with a saturation level of the filter mass at 0.25m. The parameters analyzed in this work were pH and Alkalinity, Nitrogenated Series, Phosphate and chemical oxygen demand (COD). A reduction in the parameters was observed in the system, reaching 99% removal of organic matter (COD). It was observed, already in the first stage of the system, a reduction in the applied nitrogen load of up to 62%, followed by a reduction of up to 94% in the second stage. It was also observed a reduction of about 50% in the first stage and up to 91% in the second stage of the system for the total phosphate parameter, considering the conditions of the superficial application rate. Finally, he verified that, under the operational conditions adopted, the increase in the rate of surface application did not influence the overall efficiency of the system in the removal of organic matter and nutrients.

Keywords: Constructed Wetland, French System, Superfical application rate, Removal of nutrients.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	14
2.1	OBJETIVOS GERAIS	14
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3	REFERENCIAL TEÓRICO	15
3.1	ASPECTOS GERAIS DE UM SISTEMA DE WETLANDS CONSTRUÍDOS	15
3.2	WETLANDS CONSTRUÍDOS DE FLUXO SUPERFICIAL	17
3.3	WETLAND CONSTRUÍDOS DE FLUXO SUBSUPERFICIAL	19
3.4	SISTEMAS DE WETLAND CONSTRUÍDOS DE FLUXO HORIZONTAL	20
3.5	SISTEMAS DE WETLAND CONSTRUÍDOS COM FLUXO VERTICAL	21
3.6	WETLAND CONSTRUÍDOS DE FLUXO VERTICAL MODELO FRANCÊS	23
3.7	ELEMENTOS QUE COMPÕEM O SISTEMA DE WETLAND CONSTRUÍDOS.	25
3.8	MATERIAL FILTRANTE.	26
3.9	MACRÓFITAS	27
3.10	MICROORGANISMOS	28
4	MATERIAIS E MÉTODOS	29
4.1	LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA DE WETLANDS CONSTRUÍDO DE FLUXO VERTICAL MODELO FRANCÊS	29
4.2	DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE WETLANDS CONSTRUÍDO DE FLUXO VERTICAL MODELO FRANCÊS	31
4.3	OPERAÇÃO DO WETLAND CONSTRUÍDO DE FLUXO VERTICAL MODELO FRANCÊS.	35
4.4	ROTINA DE ANÁLISE LABORATORIAL.	38
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
5.1	MONITORAMENTO	39
5.1.1	<i>Alcalinidade Total e pH</i>	39
5.1.2	<i>Série Nitrogenada</i>	44
5.1.2.1	Nitrogênio Total Kjeldahl e Nitrato	44
5.1.2.2	Nitrato e Nitrito	47
5.1.2.3	Nitrogênio Amoniacal	48
5.1.2.4	Nitrogênio Total	50
5.1.3	<i>Fosfato</i>	53
5.1.4	<i>Demanda Química de Oxigênio</i>	56
6	CONCLUSÃO	59
7	REFERÊNCIAS	60

FIGURAS

Figura 1 - Classificação dos sistemas de wetland construídos	16
Figura 2 - Vista superior (A); Vista Lateral (B); de um sistema de wetlands construídos de fluxo superficial	18
Figura 3 - Vista superior (A); Vista Lateral (B); de um sistema de wetlands construídos de fluxo subsuperficial.....	19
Figura 4 - Vista frontal do wetlands construídos de fluxo horizontal; 1) macrófitas; 2) granulometria da zona de entrada e saída; 3) impermeabilização do sistema; 4) zona de entrada; 5) zona de saída; 6) substrato filtrante.	20
Figura 5 - Esquema de vista frontal do wetland construído de fluxo vertical subsuperficial. 1) macrófitas; 2) zona de entrada; 3) impermeabilizante; 4) substrato filtrante; 5) tubulação de drenagem; 6) tubulação de alimentação.	23
Figura 6 - Esquema de vista superior do wetland construído de fluxo vertical modelo Francês clássico. 1) Primeiro estágio, dividido em seção a, b, c; 2) Segundo estágio, dividido em seção a, b.....	24
Figura 7 - Esquema de vista frontal do wetland construído de fluxo vertical modelo Francês clássico. 1) macrófitas emergentes; 2) Zona de entrada do efluente; 3) Substrato do sistema; 4) Zona de saída do efluente.....	25
Figura 8 - Localização da estação experimental em escala piloto	29
Figura 9 Localização da estação experimental em escala piloto.....	30
Figura 10 - Fluxograma do sistema piloto.....	32
Figura 11 - A) Vista frontal do primeiro estágio do sistema de WCFV; B) vista superior das duas seções que compreendem o 1º estágio do sistema; C) vista frontal do 2º estágio do sistema; D) vista frontal do 2º estágio do sistema.....	33
Figura 12 - Camada do maciço filtrante do estágio 1	34
Figura 13 - Camada do maciço filtrante do estágio 2	35

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Concentrações médias em função da taxa superficial de alimentação de Alcalinidade total (mg/L.CaCO ₃).....	42
Gráfico 2 – Concentrações médias de pH em função da taxa superficial de alimentação.....	43
Gráfico 3 – Comparação das concentrações médias de pH e alcalinidade total.....	43
Gráfico 4 – Concentrações médias em função da taxa superficial de alimentação de NTK (mg/L).....	45
Gráfico 5 – Índice de remoção média em função da taxa superficial de alimentação de NTK, para o estágio 1 do sistema.....	46
Gráfico 6 – Índice de remoção média em função da taxa superficial de alimentação de NTK, para o estágio 2 do sistema.....	47
Gráfico 7 – Comparação entre os índices de remoção média em função da taxa superficial de alimentação de NTK para o 1º e 2º estágios do sistema.....	48
Gráfico 8 – Concentrações médias em função da taxa superficial de alimentação de Nitrato (mg/L).....	49
Gráfico 9 – Concentrações médias em função da taxa superficial de alimentação de N-NH ₃ (mg/L).....	50
Gráfico 10 – Concentrações médias em função da taxa superficial de alimentação de NT (mg/L).....	51
Gráfico 11 – Índice de remoção média em função da taxa superficial de alimentação de NT, para o estágio 1 do sistema.....	52
Gráfico 12 – Índice de remoção média em função da taxa superficial de alimentação de NT, para o estágio 2 do sistema.....	53
Gráfico 13 – Concentrações médias em função da taxa superficial de alimentação de Fosfato (mg/L).....	55
Gráfico 14 – Índice de absorção média em função da taxa superficial de alimentação de Fosfato Total, para o estágio 1 do sistema.....	56
Gráfico 15 – Índice de absorção média em função da taxa superficial de alimentação de Fosfato Total, para o estágio 2 do sistema.....	56

Gráfico 16 – Concentrações médias em função da taxa superficial de alimentação de DQO (mg/L).....	58
Gráfico 17 – Índice de remoção média em função da taxa superficial de alimentação de DQO, para o estágio 1 do sistema.....	58
Gráfico 18 – Índice de remoção média em função da taxa superficial de alimentação de DQO, para o estágio 2 do sistema.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais características dos materiais comumente utilizados como meio de suporte em um sistema de Wetlands Construídos	26
Tabela 2 - Grupos de macrófitas aquáticas e suas características.....	27
Tabela 3 - Metodologia e frequência de análise físico-química	39
<i>Tabela 4</i> – Vazão e taxa de aplicação do sistema	40
<i>Tabela 5</i> – Comparativo em função da taxa superficial de alimentação	40
<i>Tabela 6</i> – Comparativo dos parâmetros em função da taxa superficial de alimentação	44
<i>Tabela 7</i> – Comparativo em função da taxa superficial de alimentação	49
<i>Tabela 8</i> – Comparativo em função da taxa superficial de alimentação	50
<i>Tabela 9</i> – Comparativo em função da taxa superficial de alimentação	53
<i>Tabela 10</i> – Comparativo em função da taxa superficial de alimentação	56

1 INTRODUÇÃO

Mais de dez anos após sancionada a Lei do Saneamento Básico, alterada pela Medida Provisória N° 844 de 6 de julho de 2018, nota-se, que a situação de acesso a serviços de coleta e tratamento de esgoto sanitário compreende ainda cerca de metade da população do país. Os dados retratados por meio dos índices de atendimento deste serviço à sociedade, demonstram, portanto, um fator importante relacionado a problemas promovidos por lançamento de efluentes (domésticos e industriais), sem que ocorra qualquer meio de tratamento. Os principais pontos de descarte desses efluentes são os corpos hídricos, que conseqüentemente, acabam por diminuir os parâmetros que estão diretamente relacionados com os níveis de qualidade de água.

Em decorrência da crescente demanda de informação em relação aos índices de potabilidade e conseqüentemente da qualidade da água, vem aumentando os estudos relacionados ao uso de sistemas alternativos no processo de tratamento de efluentes, que conseqüentemente, são despejados nos corpos hídricos. Sistemas descentralizados no processo de tratamento de diferentes tipos de efluentes, vem ganhando notoriedade na aplicação de um conjunto de técnicas, afim de, promover melhores condições de tratamento, mesclando eficiência e operações de menor custo no processo de tratamento. (BEGOSSO, 2009).

Sistemas alternativos de tratamento de efluente podem ser caracterizados pela utilização, por exemplo, de sistemas naturais que promovem a ciclagem do efluente, sem que seja necessário induzir qualquer fonte de energia no processo. Algumas técnicas ditas como naturais são amplamente difundidas em sistemas centralizados, como a utilização de lagoas de estabilização, e algumas vem ganhando espaço na concepção de tratamento de efluentes, como é o caso dos Wetland (SEZERINO, *et al*, 2004).

OLIJNYK, (2008), ressalta que o uso de sistemas alternativos, como os sistemas de *wetlands* construídos (WC), apresentam um potencial de aplicação para o tratamento ou pós tratamento de diferentes tipos de efluentes, comumente gerados em grandes centros urbanos e industriais.

Diante do crescente interesse em se promover a utilização de sistemas descentralizados, como alternativa a sistemas convencionais, destaca-se os

sistemas de *wetland* construídos de fluxo vertical (WCFV), especificadamente, o modelo Francês (SEZERINO, 2006).

O uso de (WCFV^F), vem ganhando notoriedade em virtude de um da remoção de poluentes presentes nos efluentes domésticos e principalmente pelo fato de não haver necessidade de um tratamento preliminar para esta configuração de *wetlands* construídos (TREIN *et al.*, 2015).

Machado *et al.* (2017), ressalta, que a utilização desse modelo frente a outras técnicas de tratamento apresenta vantagens quanto ao custo de instalação e operação, bem como a eficiência de remoção dos parâmetros físicos e químicos, podendo ser aplicado em regiões mais remotas, sem que seja necessário um grande aporte financeiro e tecnológico para que o sistema entre em operação.

Os sistemas (WCFV^F), são constituídos por sistemas verticais que não promovem desnitrificação e, na maioria das vezes, *wetlands* de fluxo horizontal são necessários como unidades adicionais de tratamento acarretando em aumento de custos de implantação e operação (VYMAZAL, 2013). Esse fato, pode inviabilizar a aplicação de *wetlands* verticais em alternativa às fossas sépticas, sobretudo quando for necessário preservar os mananciais de impactos advindos do lançamento de efluentes nitrogenados.

Atualmente, diversas inovações têm sido propostas para melhorar essa limitação dos *wetlands* verticais (WU *et al.* 2014). Uma proposta que ganha destaque, segundo, são os *wetlands* de fluxo vertical com leito parcialmente saturado ou submerso. Nesses sistemas, o leito submerso pode promover ambiente anóxico capaz de favorecer desnitrificação, aumentando a possibilidade de se eliminar unidades de tratamento adicionais para esse fim. Alguns parâmetros como altura de saturação do leito e carga hidráulica aplicada necessitam de estudos adicionais, pois evidenciaram influência direta no desempenho desse tipo de sistema (SILVEIRA *et al.* 2015). Diante disso, esse projeto de pesquisa buscou avaliar a eficiência de um sistema *wetland* tipo Francês, usado para tratamento do efluente de um Restaurante Universitário, aplicando saturação parcial do maciço filtrante e variando a taxa de aplicação superficial.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

Verificar a influência do aumento da taxa de aplicação superficial na remoção de matéria orgânica e nutrientes em um sistema francês de *wetlands* construídos com maciço parcialmente saturado, aplicado ao tratamento de efluente de um restaurante universitário.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar a influência do aumento da taxa de aplicação superficial na eficiência de remoção de matéria orgânica e nutrientes, sob altura de saturação do constante no maciço filtrante.
- Consolidar a tecnologia de WCFV modelo Frances como alternativa viável para o tratamento de efluentes.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 ASPECTOS GERAIS DE UM SISTEMA DE *WETLANDS* CONSTRUÍDOS

Em sua tradução livre os denominados sistemas de *wetlands* significam terra/zonas úmidas, ou seja, são áreas que naturalmente estão propícias a inundações frequentes, geralmente pântanos e margens de rios. Os *wetlands* naturais são caracterizados por proporcionar ambientes ricos e fundamentais a manutenção de *habitats* de diversos organismos essenciais à manutenção da qualidade hidrológica de uma determinada região. Alguns processos envolvidos favorecem a realização de atividades de depuração, proporcionando um tipo de tratamento intrinsecamente relacionada às características sazonais. Ressalta-se que sistemas naturais de *wetlands*, apresentam essas características sem que haja a necessidade de induzir qualquer fonte de energia alternativa aos processos bioquímicos envolvidos (SEZERINO, 2006).

Wetlands, portanto, são áreas híbridas de ecossistemas aquáticos e terrestres, que coexistem formando áreas alagadas que promovem interações complexas de matéria orgânica e inorgânica, proporcionando ciclagem de nutrientes. Conseqüentemente sistemas construídos de *wetlands* tem como objetivo aumentar essas condições naturais de redução de constituintes físico-químicos presentes em corpos hídricos. Envolvendo processos de degradação da matéria orgânica e conseqüentemente, do processo de melhora na qualidade da água (OLIJNYK, 2008; DEGEN, 2018).

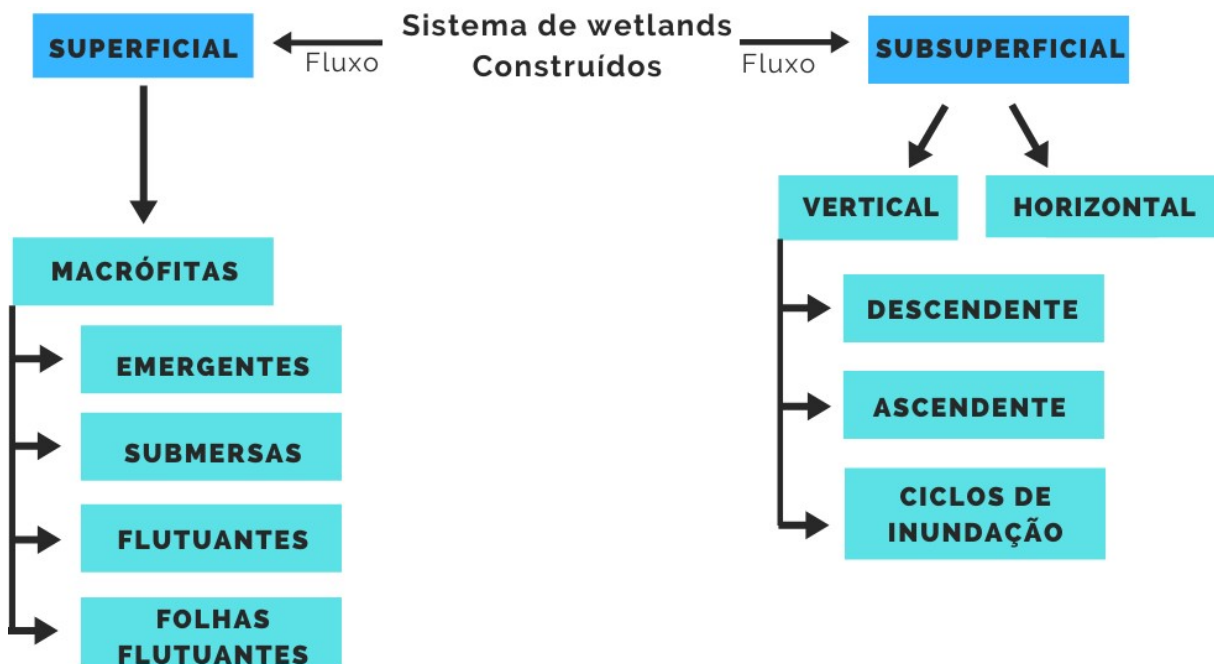
Técnicas de tratamento de águas residuais são derivadas de processos de natureza química, física e biológica. O processo de interação entre substrato–microbiota–planta, proporcionam ao sistema a capacidade de tratamento dos efluentes. Neste contexto, podemos definir um sistema de *wetlands* construídos (WC), como um conjunto de interações que tem como objetivo assemelhar-se ao comportamento de em um sistema de *wetlands* naturais, afim de, se proporcionar uma redução eficiente nos parâmetros de poluição comumente encontrados em corpos hídricos, em especial, após grandes centros e/ou comunidades que não

tenham acesso a um sistema de tratamento do efluente gerado (FERREIRA; PEREIRA; LUÍS, 2012; TREIN *et al.*, 2015).

Trein *et al.* (2015), ressalta, que sistemas de *wetlands* construídos podem ser empregados em processos de tratamento descentralizados, de diferente ordem, seja secundário e/ou terciário, pois tratam-se de sistemas que apresentam tecnologias que proporcionam ao efluente um processo de depuração, remoção de sólidos e conversão da série nitrogenada, respectivamente.

Os *wetlands* construídos possuem inúmeras configurações em virtude de suas variantes, ressalta-se, que os diferentes modelos observados estão diretamente ligados com as características do efluente a ser tratado, a sazonalidade, o regime de escoamento, o emprego de macrófitas no sistema, a taxa de aplicação hidráulica, o material usado como meio suporte, entre outros fatores físico-químicos. Segundo Machado *et al.* (2017), o principal fator de definição do sistema está relacionado com a utilização de macrófitas e o tipo de fluxo aplicado ao sistema (Figura 1).

Figura 1 - Classificação dos sistemas de *wetland* construídos



Fonte: adaptado de Sezerino *et al.*, 2015

Ressalta-se que sistemas de *wetlands* construídos, que apresentam fluxo superficial, são caracterizados pelo escoamento do fluxo ocorrer por cima do substrato de leito do sistema, ou seja, o efluente não atravessa/percola o material de leito. Observa-se, que o princípio do tratamento proporcionado por esta categoria de *wetlands*, consiste, no uso de macrófitas para o melhor desempenho do processo de diminuição da carga orgânica do efluente.

As principais variantes de macrófitas diferem-se, principalmente, em razão da forma como se encontram no meio. Macrófitas emergentes apresentam enraizamento no substrato, porém a lâmina foliar apresenta crescimento acima do nível do efluente. Macrófitas submersas são classificadas em dois grupos, livres e enraizadas, contudo seu desenvolvimento, em ambos os casos, é necessariamente realizado abaixo do nível do efluente (submersa), por sua vez, macrófitas flutuantes não apresentam sistema de enraizamento no substrato e macrófitas do grupo de folhas flutuantes apresentam enraizamento no sedimento, e as lâminas foliares desse gênero permanecem flutuando no efluente, diferentemente das emergentes, que apresentam desenvolvimento da folha acima do nível do efluente OLJNYK (2008).

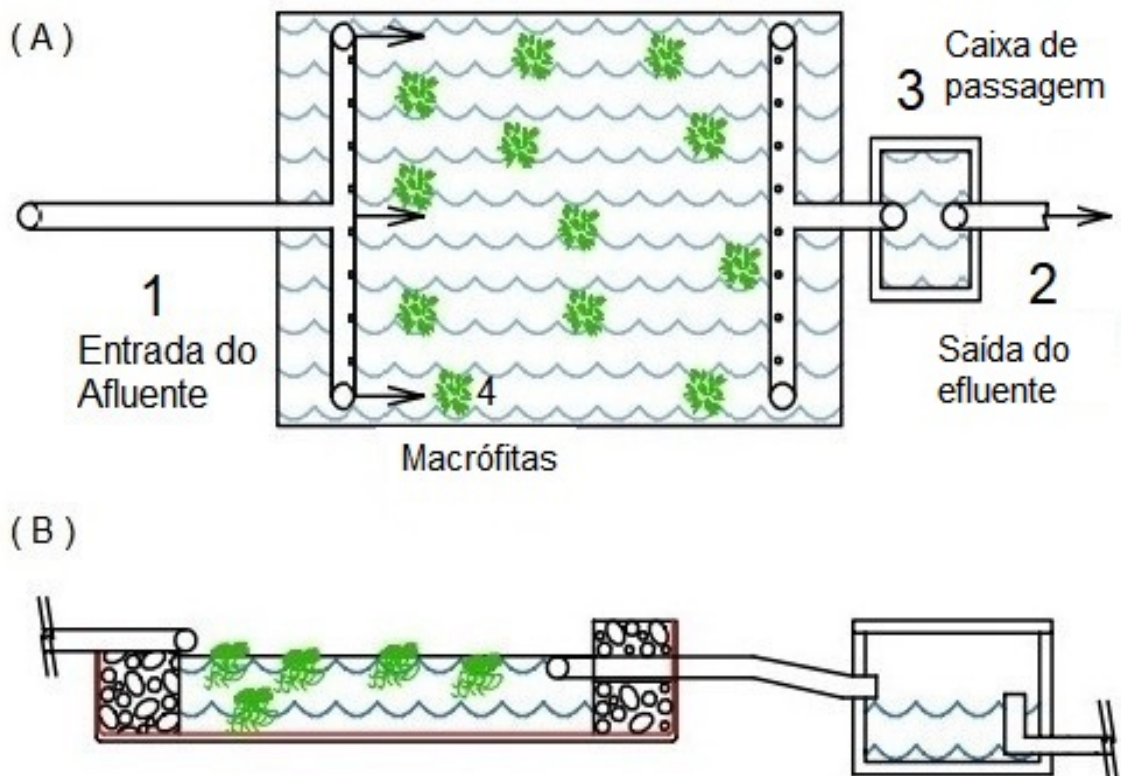
Por sua vez, sistemas de *wetlands* de fluxo subsuperficial apresentam um conjunto de materiais que formam um substrato filtrante por onde o efluente poderá escoar de forma, vertical ou horizontal, sistemas de fluxo vertical podem apresentar, ainda, uma variante no sentido de alimentação do sistema pelo efluente, podendo o mesmo ser alimentado de forma ascendente ou descendente. As configurações para a construção de cada modelo de um sistema de *wetlands* estão relacionadas com a fonte do efluente, a eficiência de tratamento, as taxas hidráulicas de alimentação e as configurações geológicas do ambiente (SEZERINO *et al.*, 2015; MACHADO *et al.*, 2017; LEAL, 2019).

3.2 WETLANDS CONSTRUÍDOS DE FLUXO SUPERFICIAL

Sistemas de *wetlands* construídos de fluxo superficial apresentam dinâmica de funcionamento que se assemelham a sistemas naturais. As macrófitas presentes nessa configuração de *wetlands* são a principal fonte de remoção de nutrientes, bem

como os microrganismos, que permanecem em meio ao efluente que escoar superficialmente ao leito do sistema (Figura 2), (LAUTENSCHLAGER, 2001; SEZERINO, 2006).

Figura 2 - Vista superior (A); Vista Lateral (B); de um sistema de *wetlands* construídos de fluxo superficial



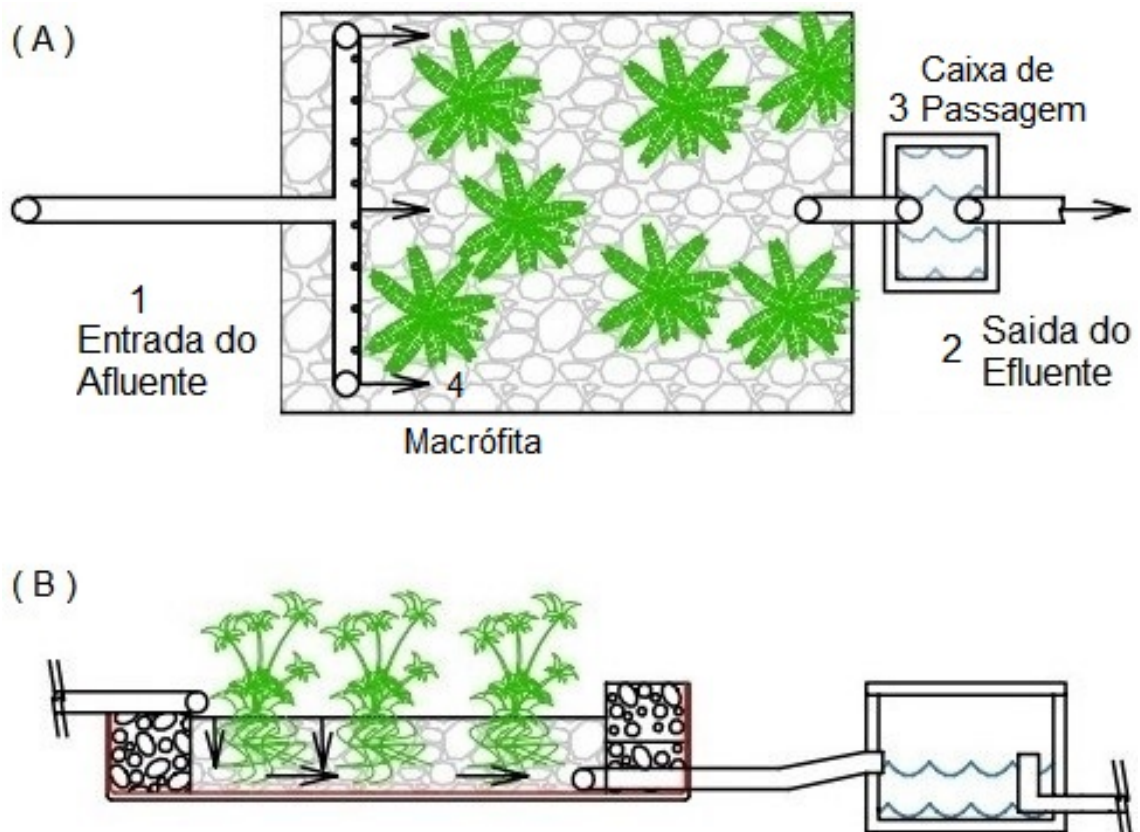
Fonte: adaptado de Lautenschlager, (2001)

Segundo Andrade (2012), em configurações de *Wetlands* construídos de fluxo superficial é comum a utilização de variadas comunidades de macrófitas, dentre elas, destacam-se, emergentes, submersas e flutuantes. Ressalta-se que macrófitas da espécie emergentes necessitam de um meio de suporte para seu desenvolvimento. Observa-se que o uso das demais espécies de macrófitas diferem-se das emergentes, por apresentar desenvolvimento livre, ou seja, sem a necessidade de aderir ao material de suporte em meio ao efluente.

3.3 WETLAND CONSTRUÍDOS DE FLUXO SUBSUPERFICIAL

Sistemas subsuperficiais são caracterizados pelo comportamento do fluxo do efluente, que escoar por meio do substrato (Figura 3), adotando um sentido vertical ou horizontal de escoamento. O processo de depuração das águas residuais, via reações físicas-químicas-biológicas, ocorrem no substrato filtrante por meio da associação de microrganismos agregados ao sistema radicular das macrófitas que compõem o sistema de *wetlands*, ressalta-se, que o desenvolvimento do biofilme no substrato e as características de adsorção e filtração do material que compõem o leito filtrante, são também, fatores decisivos nos processos de tratamento do efluente (LAUTENSCHLAGER, 2001; LIMA, 2016; ZINATO; GUIMARÃES, 2017).

Figura 3 - Vista superior (A); Vista Lateral (B); de um sistema de *wetlands* construídos de fluxo subsuperficial

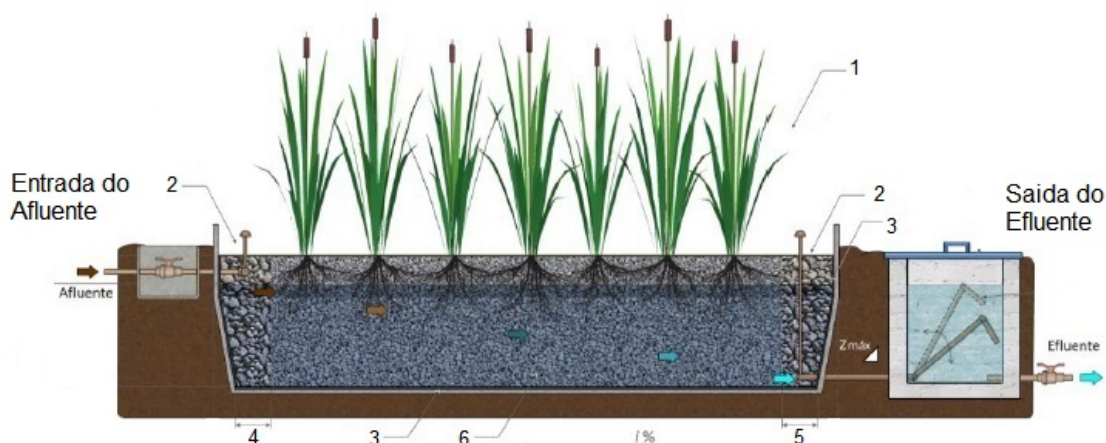


Fonte: adaptado de Lautenschlager. (2001)

3.4 SISTEMAS DE WETLAND CONSTRUÍDOS DE FLUXO HORIZONTAL

Observa-se, que para sistemas de *wetlands* construídos de fluxo horizontal (WCFH), a alimentação do sistema inicia-se em uma das extremidades do material de suporte, denominada de zona de entrada, que comumente é composta por brita de maior porte, de onde o efluente percola lentamente através do substrato, apresentando sentido horizontal do fluxo, característica assegurada por meio de parâmetros de projeto, que proporcionam a declividade necessária ao sistema. O efluente alcança a porção final do sistema, denominado de zona de saída, ressalta-se, que o fluxo hidráulico escoa em meio saturado, Figura 4 (SEZERINO *et al.*, 2015; SPERLING; SEZERINO, 2018).

Figura 4 - Vista frontal do *wetlands* construídos de fluxo horizontal; 1) macrófitas; 2) granulometria da zona de entrada e saída; 3) impermeabilização do sistema; 4) zona de entrada; 5) zona de saída; 6) substrato filtrante.



Fonte: adaptado de Sperling *et al.* (2018)

Segundo Sezerino (2015), sistemas de tratamentos descentralizados como (WCFH), são utilizados principalmente no tratamento secundário de efluentes. Esses sistemas possuem características de composição, como taxa hidráulica de alimentação e material do substrato filtrante, como descrito no Quadro 1.

Quadro 1 - Características de projeto de um WCFH

Item	Valor ou Descrição	Observação
Altura do meio de suporte	0,50 a 0,90 m	A altura do substrato filtrante está associada com o material utilizado e sua granulometria. Meio suporte geralmente mais finos tendem a aumentar a área de seção transversal reduzindo a perda de carga hidráulica.
Declividade de fundo	0 a 1%	Em sistemas que apresentam alta taxa de aplicação hidráulica pode-se considerar a declividade longitudinal de fundo.
Granulometria do leito	Usualmente são aplicadas brita e cascalho entre outros materiais.	Menores granulometrias proporcionam condições de filtração melhores, más são suscetíveis a colmatação.
Plantas potencialmente utilizáveis	<i>Typha</i> (taboa); <i>Cyperus papyrus</i> (papiro); <i>Zizania bonariensis</i> (junco); <i>Juncus</i> spp (junco); <i>Eleocharis</i> spp; <i>Alternanthera</i> spp; <i>Brachiaria</i> spp; <i>Cynodon</i> spp (capim Tifton 85); <i>Pennisetum purpureum</i> (capim-elefante); <i>Chrysopogon zizanioides</i> (capim Vetiver); <i>Canna generalis</i> (biri).	

Fonte: adaptado de Sperling *et al.* (2018)

3.5 SISTEMAS DE WETLAND CONSTRUÍDOS COM FLUXO VERTICAL

Ressalta-se que essa configuração de sistema de *wetlands* construídos é amplamente difundida em países desenvolvidos, como a Europa, por apresentar estabilização da matéria orgânica carbonácea e promover melhor eficiência em termos de nitrificação do efluente. Contudo *wetlands* construídos de fluxo vertical não apresentam altas taxas de remoção de nitrogênio total. O baixo resultado é proveniente do sistema não apresentar ambientes anóxicos, necessários para remoção do parâmetro. (SANTOS *et al.*, 2016; TREIN, CAMILA MARIA ZUMALACARREGUI GARCÍA; SPERLING, 2018)

Segundo Santos *et al.* (2016), o dimensionamento do *wetlands* construídos de fluxo vertical, (WCFV), é elaborado para proporcionar o deslocamento de oxigênio para dentro do substrato filtrante. O deslocamento de oxigênio pelo sistema é favorecido pelo regime de alimentação intermitente, o que proporciona ao sistema o

favorecimento de áreas aeróbias, condições estas que melhoram os processos de estabilização da matéria orgânica carbonácea e da nitrificação.

Trein *et al.* (2015), define o sistema como uma composição aplicada ao terreno, *on site*, observando as características de construção e elaboração de projeto para este modelo de *wetlands* (Quadro 2). O maciço é preenchido com um substrato filtrante (brita e areia), associados a utilização de macrófitas emergentes na superfície. A alimentação do sistema de *wetlands* ocorre de forma intermitente, ou seja, por pulsos, sobre toda superfície do material filtrante, escoando de forma vertical entre o meio filtrante (Figura 5).

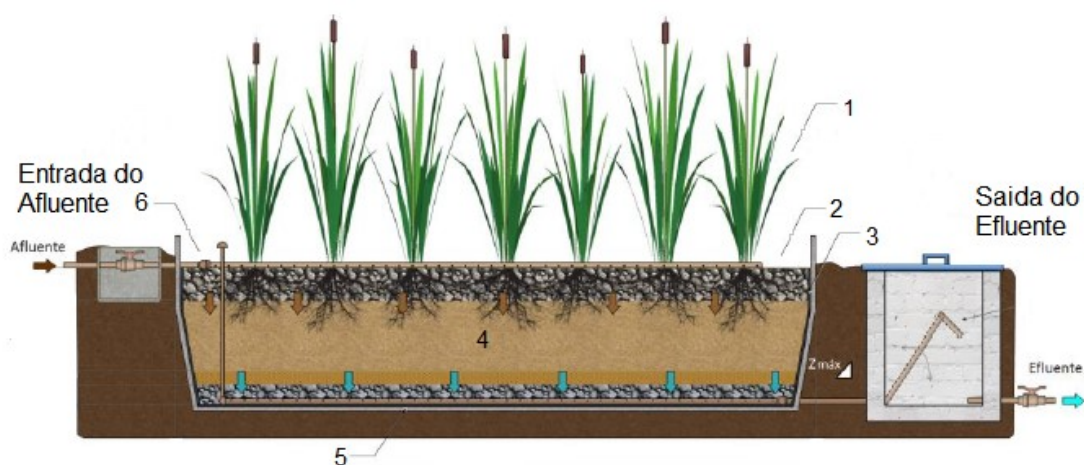
Quadro 2 - Características de projeto de um WCFH

Item	Valor ou Descrição	Observação
Altura do meio de suporte	0,4 a 0,6 m	Camada principal do leito, responsável pela maior parte do tratamento. <i>Ref: Experiência internacional, expressa em IWA Task Group (2017) e Hoffmann et al. (2011); experiência nacional, expressa em GESAD/UFSC.</i>
Declividade de fundo	0 a 1%	Pode haver uma declividade longitudinal, na direção da saída, para facilitar a drenagem de fundo em sistemas de maiores dimensões. <i>Ref: Hoffmann et al. (2011).</i>
Granulometria do leito na camada de filtração	Areia grossa (1,2 a 4,8 mm)	Usualmente a especificação da granulometria do material é feita em termos do diâmetro efetivo d ₁₀ e do coeficiente de desuniformidade (d ₆₀ /d ₁₀). <i>Ref: Experiência internacional, expressa em IWA Task Group (2017) e Hoffmann et al. (2011); experiência nacional, expressa em GESAD/UFSC.</i> <i>Ref.: areia – ABNT NBR 13969 /1997.</i>
Plantas potencialmente utilizáveis	<i>Cynodon spp</i> (capim Tifton 85); <i>Typha</i> (taboa), caso o período sem alimentação não seja longo; <i>Cyperus Papyrus</i> (papiro); <i>Zizania bonariensis</i> . <i>Chrysopogon zizanioides</i> (capim-vetiver). <i>Eleocharis spp.</i> <i>Zantedeschia aethiopica</i> (conhecido por copo de leite)	Outras espécies podem ser utilizadas, desde que se adaptem às condições operacionais impostas.

Item	Valor ou Descrição	Observação
	<i>Canna L. (conhecida por cana indica) da Família da Cannaceae. Heliconia spp.</i>	
Alternância entre os leitos	Variável entre 3,5 a 30 dias	Pode-se adotar outros ciclos operacionais.

Fonte: adaptado de Sperling *et al.* (2018)

Figura 5 - Esquema de vista frontal do wetland construído de fluxo vertical subsuperficial. 1) macrófitas; 2) zona de entrada; 3) impermeabilizante; 4) substrato filtrante; 5) tubulação de drenagem; 6) tubulação de alimentação.



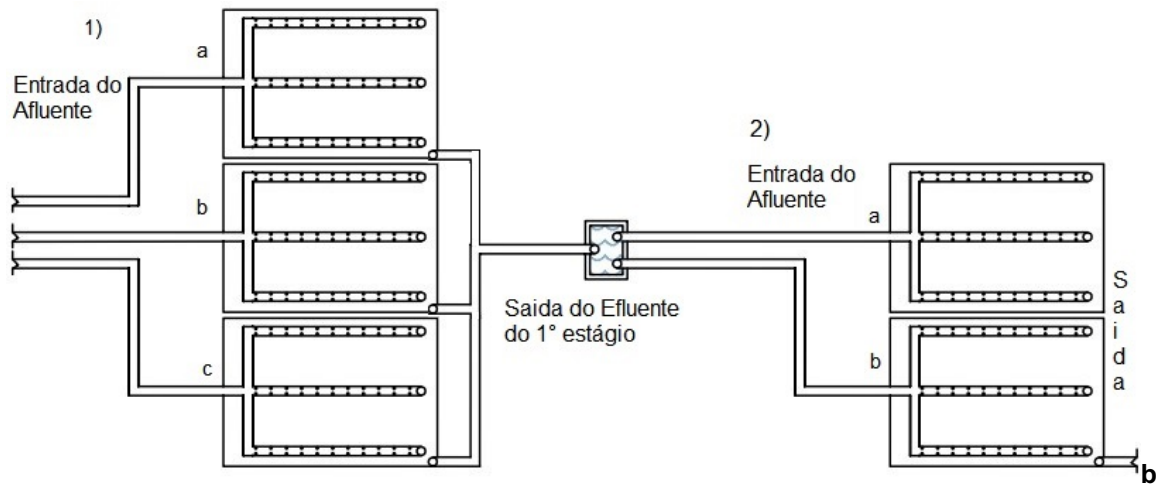
Fonte: adaptado de Sperling *et al.* (2018)

3.6 WETLAND CONSTRUÍDOS DE FLUXO VERTICAL MODELO FRANCÊS (WCFVF)

Um sistema de *wetland* construído de acordo com o modelo francês apresenta uma configuração de dois estágios de tratamento, de modo que, o primeiro estágio é subdividido em três seções, enquanto o segundo estágio é composto por duas seções, conforme Figura 6 (SPERLING; SEZERINO, 2018).

O uso de sistemas de (WCFVF) são vantajosos por possuir regime de alimentação em bateladas, e dentre suas principais vantagens, ressalta-se, a utilização do efluente bruto como alimentação do sistema, em contra mão ao uso de outras configurações de sistemas de tratamento biológico alternativos (MANJATE; ZUMALACARREGUI; SPERLING, 2015).

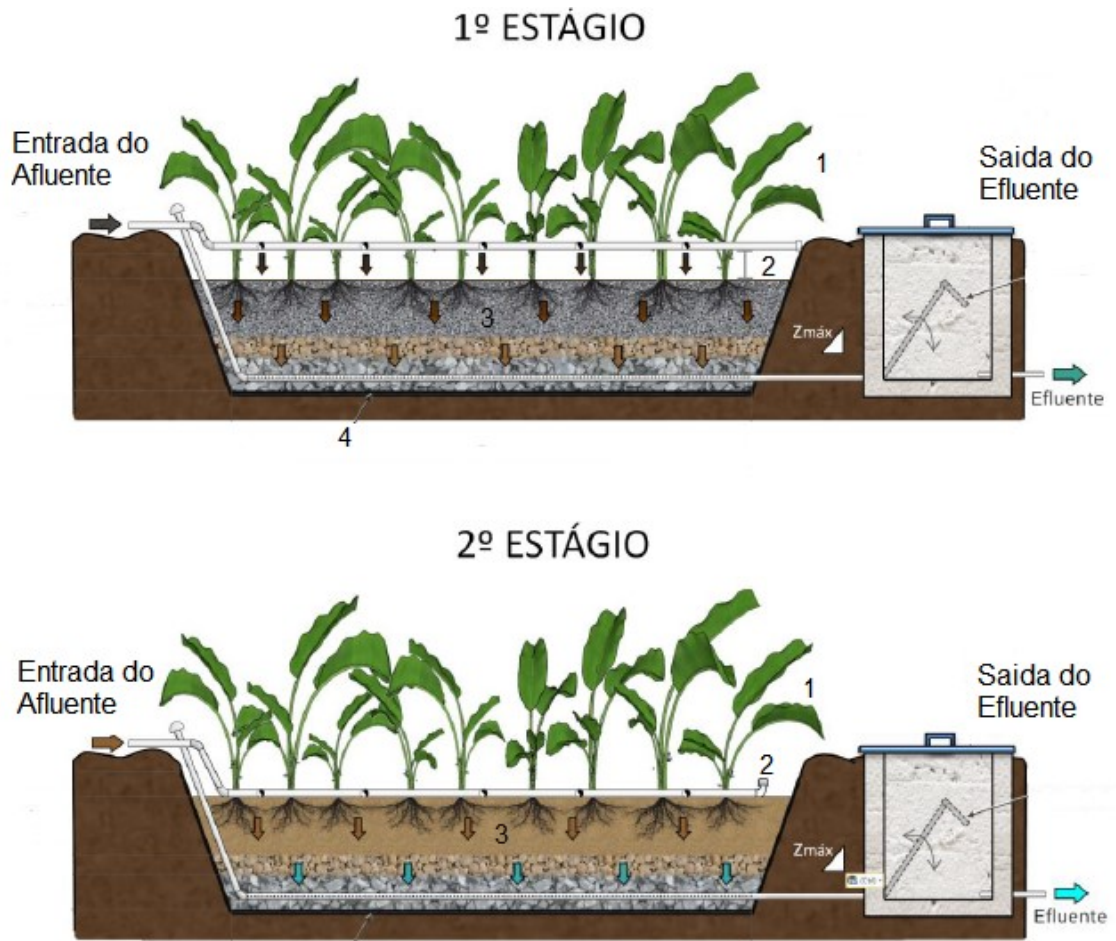
Figura 6 - Esquema de vista superior do (WCFV^F) clássico. 1) Primeiro estágio, dividido em seção a, b, c; 2) Segundo estágio, dividido em seção a, b,



Fonte: adaptado de Dalbosco (2016)

Observa-se, que assim como um *wetlands* de fluxo vertical, o escoamento do efluente em um sistema construído de modelo francês segue um fluxo vertical pelo meio filtrante. Essa configuração apresenta dois estágios de tratamento, onde o primeiro estágio é composto por um meio filtrante, geralmente brita e cascalho, que apresenta maior granulometria que o substrato presente no segundo estágio (Figura 7). O regime de alimentação intermitente do sistema, proporciona a renovação do ambiente aeróbio no meio, resultando em condições favoráveis a nitrificação e a redução da matéria orgânica. Ressalta-se, ainda, que sistemas projetados nessa configuração, que apresentem um regime de alimentação intermitente, demonstram vantagens como o favorecimento de condições de mineralização do lodo formado na superfície (DALBOSCO, 2016; MANJATE; ZUMALACARREGUI; SPERLING, 2015; SPERLING; SEZERINO, 2018).

Figura 7 - Esquema de vista frontal do ($WCFV^F$) clássico. 1) macrófitas emergentes; 2) Zona de entrada do efluente; 3) Substrato do sistema; 4) Zona de saída do efluente



Fonte: adaptado de Sperling *et al.* (2018)

3.7 ELEMENTOS QUE COMPÕEM O SISTEMA DE WETLAND CONSTRUÍDOS.

Os principais elementos que compõem os sistemas de *wetlands* construídos são: o material filtrante, as macrófitas e os microrganismos. Estes estão diretamente relacionados com os processos de depuração e estabilização dos poluentes das águas residuais, influenciando também, processos físicos, químicos e biológicos do tratamento.

3.8 MATERIAL FILTRANTE.

O tratamento do efluente depende diretamente do meio suporte utilizado no sistema, os processos de adsorção, filtração e estabilização da matéria orgânica ocorrem em meio ao substrato, composto normalmente por brita e cascalho, podendo-se adicionar outros materiais, considerando suas características de granulometria e interação com os processos físicos-químicos-biológicos (OLIJNYK, 2008). Segundo Sezerino (2006), algumas das características como o diâmetro do material utilizado no meio de suporte, além de, razões como o coeficiente de uniformidade e permeabilidade, apresentam influência diretamente proporcional aos valores de eficiência do tratamento de efluentes, Tabela 1.

Tabela 1 - Principais características dos materiais comumente utilizados como meio de suporte em um sistema de Wetlands Construídos

Características dos materiais comumente utilizados	Valores adotados
Diâmetro efetivo (d_{10})	Superior ou igual a 0,20 mm
Coeficiente de uniformidade (U)	Menor ou igual a 5 unidades
Coeficiente de permeabilidade	Maior ou igual a 10^{-4} m s^{-1}

Fonte: adaptado de Sezerino (2006)

OLIJNYK (2008) apud CAPUTO (1996), ressaltam, que o diâmetro efetivo do material suporte é o valor do diâmetro que corresponde a 10% do peso de todas as partículas menores que ele próprio, essa condição determina os valores de permeabilidade do material. Enquanto, o coeficiente de uniformidade é caracterizado por ser a razão entre os diâmetros que correspondem a 60% do peso de todas as partículas menores que ele, dividido pelo diâmetro correspondente a 10% do peso de todas as partículas menores que ele.

Observa-se, que valores de coeficientes de permeabilidade abaixo dos indicados podem induzir a perda da capacidade de percolação pelo substrato, resultando em um escoamento superficial do efluente (OLIJNYK, 2008 apud CAPUTO, 1996).

Características químicas dos materiais utilizados como substrato do sistema, exercem relevante influência no processo de adsorção de compostos inorgânicos e na condutividade hidráulica do material, ressalta-se a importância da correta determinação do material para que o processo de percolação do efluente não seja afetado (SEZERINO *et al.*, 2015; lima, 2016).

3.9 MACRÓFITAS

Macrófitas aquáticas é a denominação dada ao grupo de vegetais que se desenvolvem em ambientes de brejos ou inteiramente aquáticos. Segundo OLIJNYK (2008), os grupos de macrófitas são agrupados conforme descrito na Tabela 2.

Tabela 2 - Grupos de macrófitas aquáticas e suas características

Grupos de Macrófitas aquáticas	Características
Macrófitas emergentes	Enraizadas com folhas fora da água
Macrófitas com folhas flutuantes	Enraizadas com folhas flutuando na superfície da água
Macrófitas submersas enraizadas	Enraizadas submersas na água
Macrófitas submersas livres	Permanecem flutuando submergidas
Macrófitas flutuantes	Flutuam na superfície da água

Fonte: adaptado de OLIJNYK (2008)

Macrófitas exercem importantes funções no sistema de WC. O crescimento radicular promove melhores condições de escoamento do efluente pelo substrato, favorecendo assim a oxigenação do meio. Sperling e Sezerino (2018), destacam a importância da utilização de macrófitas que possuam condições de desenvolvimento interligadas ao regime sazonal da região de aplicação, assim como, regime de alimentação intermitente.

O tratamento de águas residuais, realizado por um sistema de macrófitas, consiste na interação entre o sistema radicular e os microrganismos envolvidos, que por meio de atividades biológicas e reações bioquímicas promovem a degradação da matéria orgânica, tornando os nutrientes disponíveis para que, desta forma, possam ser absorvidos pelo conjunto radicular (LIMA, 2016).

3.10 MICRORGANISMOS

Sistemas de WC apresentam um conjunto heterogêneo de microrganismos (Quadro 3), que são a principal forma de degradação de poluentes, observa-se, que entre as principais espécies encontradas no sistema destacam-se: algas, fungos, protozoários e bactérias. As bactérias são responsáveis pelo processo de decomposição de matéria orgânica, nitrificação e desnitrificação. Os microrganismos aderidos ao material filtrante e ao sistema radicular, promovem o crescimento do biofilme, que por sua vez é formado por um conjunto de microrganismos que são responsáveis por proporcionar a depuração do efluente, os elementos necessários para o crescimento bacteriano são transportados por meio do biofilme onde são metabolizados (OLIJNYK, 2008; LIMA 2016).

Quadro 3 – Conjunto dos principais microrganismos no processo de tratamento do efluente

Microrganismo	Função
Bactérias	<ul style="list-style-type: none"> • Oxidação da matéria carbonácea; • Nitrificação e Desnitrificação;
Protozoários	<ul style="list-style-type: none"> • Clarificação do efluente; • Degradação da matéria orgânica; • Mantêm o equilíbrio ecológico do sistema; • Redução da produção de lodo através da ingestão de bactérias floculadas; • Indicação da qualidade do efluente final;

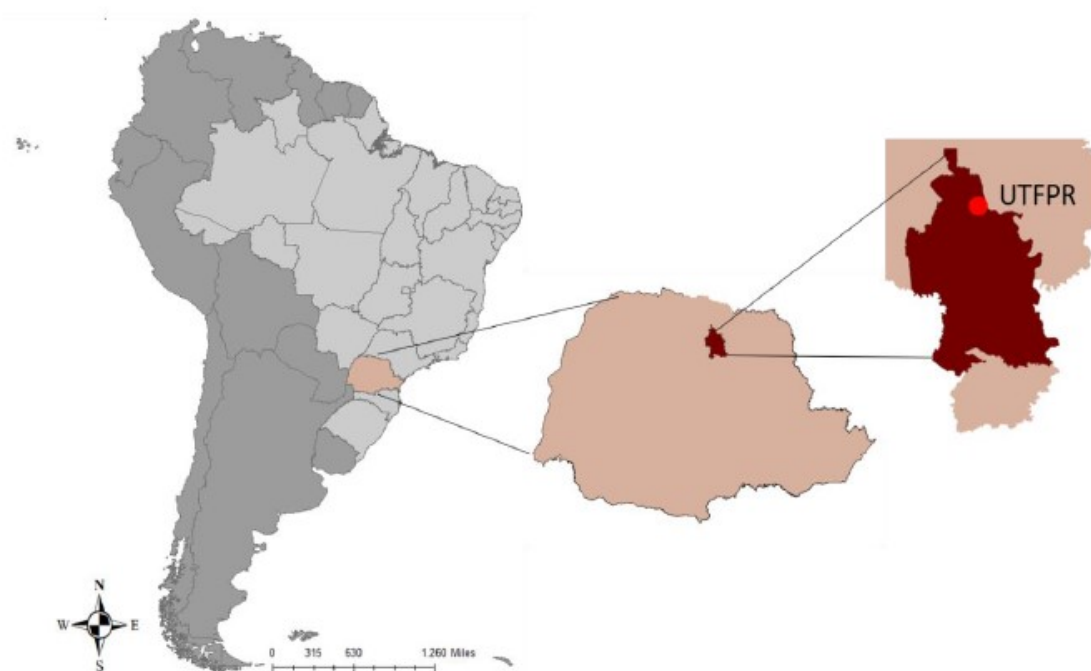
Fonte: Adaptado de Nunes (2018)

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 LOCALIZAÇÃO DO SISTEMA DE *WETLANDS* CONSTRUÍDO DE FLUXO VERTICAL MODELO FRANCÊS.

O sistema de (*WCFV^F*) foi construído nas dependências da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Londrina (Figura 8).

Figura 8 - Localização da estação experimental em escala piloto



Fonte: Nunes (2018)

Ressalta-se, que a operação do sistema foi conduzida nas imediações do restaurante universitário do Câmpus, afim de, proporcionar um ambiente propício para o desenvolvimento das atividades relacionadas a manutenção e controle do sistema (Figura 9).

Figura 9 Localização da estação experimental em escala piloto

Fonte: *Google Earth*

As atividades de análise seguiram um cronograma pré-estabelecido, afim de, proporcionar um conjunto de dados contínuos, onde, determinou-se que as análises laboratoriais seriam realizadas semanalmente, levando em conta as condições de operação do sistema. As análises foram, portanto, realizadas no laboratório de saneamento do Departamento de Engenharia Ambiental do Câmpus, denominado laboratório S004.

A cidade de Londrina segundo informações da prefeitura, localiza-se em um espigão, parte mais elevada de uma região, e apresenta estações sazonais bem definidas, predominantemente verão quente e inverno ameno, possuindo temperaturas médias entre 25,5°C e 16,4°C, para os meses mais quentes e frios, respectivamente.

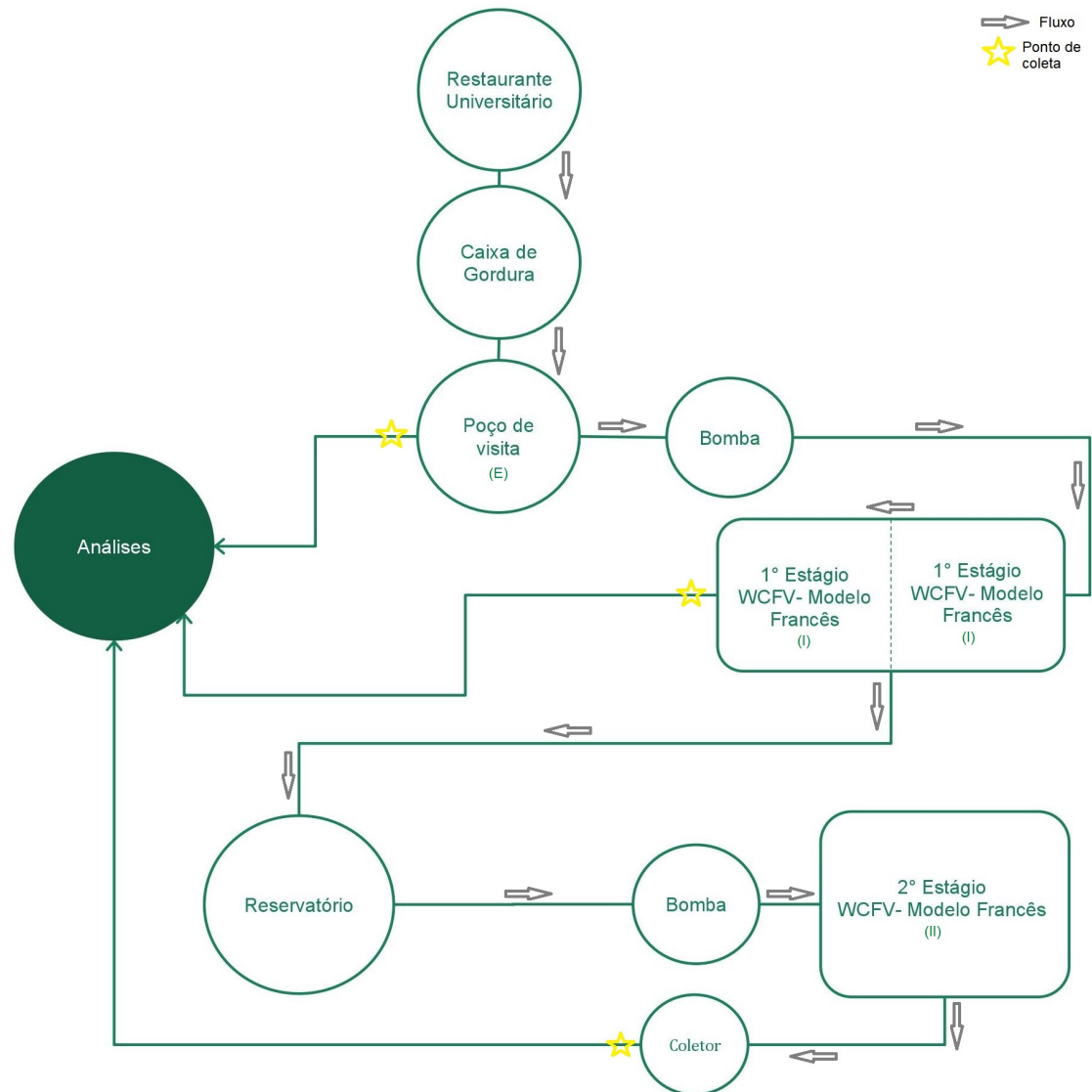
O clima da região norte do Paraná, segundo Koppen, é definido como clima subtropical úmido, com temperaturas maiores que 22°C no verão e média de chuva maiores que 30 mm no mês mais seco. O sistema de classificação climática de Koppen é amplamente utilizado para caracterizar o clima em torno de todo mundo, levando-se em conta médias anuais e mensais da temperatura regional, além do regime de precipitação.

4.2 DESCRIÇÃO DO SISTEMA (WCFV^F)

O sistema em escala piloto construído no Campus da Universidade Tecnológica Federal foi dimensionado e adaptado de acordo com o modelo tradicional, que originalmente é composto por dois estágios, sendo o 1º estágio subdividido em três seções enquanto o 2º estágio divide-se em duas seções (MOLLE *et al.*, 2005).

O sistema piloto utilizado foi adaptado, de modo que o 1º estágio do sistema foi composto por duas seções e o 2º estágio por uma única seção. O piloto foi elaborado para tratar o efluente do Restaurante Universitário, as características do efluente a ser tratado são oriundas de processos de preparo de refeições, atividades de lavagem e manutenção do espaço, assim como, a utilização dos aparelhos sanitários do ambiente (Figura 10).

Figura 10 - Fluxograma do sistema piloto



Fonte: Autoria própria (2019)

O sistema é preenchido por mudas de macrófitas do gênero *Heliconia Rostrata*, essa espécie de macrófita apresenta semelhança com as folhas de bananeiras, por isso é frequentemente chamada de bananeira silvestre (Figura 11), as mudas apresentam desenvolvimento de um caule subterrâneo. A *Heliconia rostrata* apresenta sistema foliar característico com tamanhos que variam de 30 a 70 centímetros, com coloração verde dos dois lados, inflorescência de suspensão invertida com brácteas em tons de verde, amarelo, rosa e vermelho (WATSON; SMITH, [s.d.]).

Figura 11 - A) Vista frontal do primeiro estágio do sistema de WCFV; B) vista superior das duas seções que compreendem o 1º estágio do sistema; C) *vista frontal do 2º estágio do sistema*; D) *vista frontal do 2º estágio do sistema*



Fonte: Autoria própria, (2019).

Os dados de referência quanto as dimensões do sistema piloto, assim como os materiais utilizados no meio filtrante, são representadas por meio do Quadro 4, Figura 12 e 13.

Quadro 4 - Composição do leito filtrante de cada estágio

	Área (m ²)	Dimensões (m)	Material do Substrato	Diâmetro do Substrato (mm)	Altura do Substrato (m)
Estágio 1	1,13	0,90 x 1,25	Brita n°1	$\Phi = 9,5 - 19$	0,10
			Brita n°½	$\Phi = 5 - 12,7$	0,25
			Brita n°0	$\Phi = 4,5 - 9,5$	0,20
Estágio 2	1,0	1,0 X 1,0	Brita n°2	$\Phi = 19 - 32$	0,1
			Brita n°1	$\Phi = 9,5 - 19$	0,2
			Brita n°0	$\Phi = 4,5 - 9,5$	0,2
			Areia	$\Phi = 0,36$	0,2
$\Phi = 0,18$					

Fonte: Autoria própria (2019)

Figura 12 - Camada do maciço filtrante do estágio 1

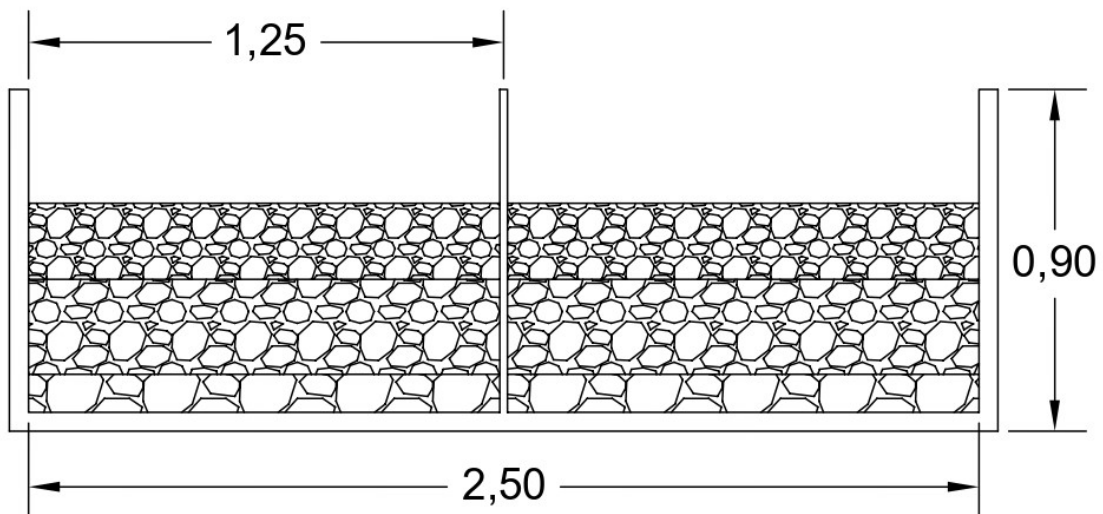
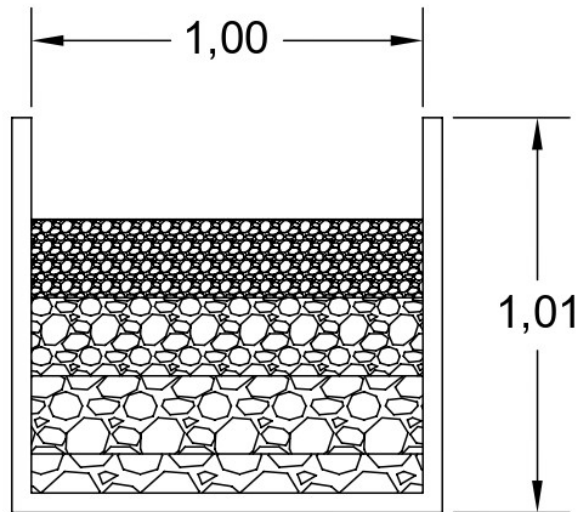


Figura 13 - Camada do maciço filtrante do estágio 2



4.3 OPERAÇÃO DO WETLAND CONSTRUÍDO DE FLUXO VERTICAL MODELO FRANCÊS.

O efluente de alimentação do sistema foi derivado das atividades cotidianas de funcionamento do restaurante universitário, assim como o uso dos sanitários do ambiente. O esgoto bruto foi coletado por meio de um conjunto moto bomba, observa-se, que o efluente utilizado primeiramente passava por uma caixa de gordura e posteriormente era direcionado a caixa de visita, onde o conjunto de moto bomba estava instalado. O poço de visita foi construído de modo a manter um volume constante de efluente armazenado, por sua vez, o excedente era redirecionado para a rede de esgoto convencional.

Ressalta-se, que ao todo, foram utilizados dois conjuntos de moto bomba, a primeira bomba alimentava o estágio 1 do sistema (esgoto bruto), e uma segunda bomba, de mesmas especificações, alimentava o estágio 2 do sistema. As bombas centrifugas que foram utilizadas para realização deste experimento possuíam uma vazão nominal de 1500 L h^{-1} , e foram responsáveis por alimentar cada uma das seções do 1º e 2º estágios do sistema, afim de, garantir que a taxa hidráulica de aplicação superficial fosse menor que $0,37 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

A fim de observar a eficiência do sistema e comportamento dos parâmetros, elaborou-se alguns cálculos.

- Vazão de projeto:

Vazão de 25 L por minuto ($0,025 \text{ m}^3/\text{min}$), segundo especificações da bomba, considerando os regimes de alimentação do sistema de 2, 6 e 8 pulsos de um minuto por dia.

$$Q=0,025 \text{ m}^3\cdot\text{min}^{-1} *N$$

Onde:

Q = vazão (m^3/min)

N = número de pulsos por dia

Considerando o regime de alimentação previsto para os dois estágios do sistema, alternando-se o número de bateladas de alimentação entre 2, 6 e 8 pulsos por dia, com vazão de $0,025 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ (especificações da bomba), com fluxo de alimentação do sistema ocorrendo de forma intermitente, com duração de 1 minuto cada pulso. Aplicou-se uma vazão máxima de projeto de $0,05 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$; $0,15 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ e $0,2 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$, respectivamente, considerando cada regime de alimentação.

Observa-se, que a taxa de aplicação superficial varia de acordo com o regime de alimentação, sendo:

- Taxa de aplicação superficial

$$Ta=Q/A$$

Ta = Taxa de aplicação ($\text{m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)

Q = Vazão ($\text{m}^3 \text{ d}^{-1}$)

A = área (m^2)

Levando em conta a área superficial de aplicação de cada estágio (1,13 m² para cada uma das seções do estágio 1) e (1,0 m² para o estágio 2). Alternando o regime de alimentação, observou-se, que para o estágio 1 do sistema a taxa hidráulica de alimentação superficial foi de aproximadamente 0,044 m³ m⁻² d⁻¹; 0,13 m³ m⁻² d⁻¹ e 0,18 m³ m⁻² d⁻¹, respectivamente. Enquanto para o estágio 2, considerando o mesmo regime de alimentação do sistema aplicado ao 1º estágio, uma taxa hidráulica de 0,05 m³ m⁻² d⁻¹; 0,15 m³ m⁻² d⁻¹; 0,2 m³ m⁻² d⁻¹.

O efluente do estágio 1 do sistema foi armazenado em uma cisterna de aproximadamente 350 L, que posteriormente foi bombeado através de um conjunto moto bomba para alimentação do 2º estágio do sistema piloto, conforme já citado. Ressalta-se, que a fim de proporcionar condições favoráveis para remoção de nitrogênio total o sistema possui no 2º estágio um fundo saturado de 0,25 m, proporcionando um ambiente anaeróbio esperado.

O regime de alimentação do sistema foi elaborado em função do estágio a ser alimentado, ou seja, o 1º estágio foi alimentado em cada uma de suas duas seções separadamente, durante 4 dias de funcionamento para 10 dias de descanso de cada seção, nota-se, que enquanto uma das seções foi alimentada durante 4 dias, a outra seção do primeiro estágio permaneceu em descanso, após os 4 dias de funcionamento da seção que estava em operação, continuava-se em descanso por mais 3 dias, ambas as seções, voltando a funcionar após esse período a seção seguinte, portanto a primeira seção a ser alimentada por 4 dias ficou 10 dias em descanso.

No 2º estágio do sistema, ocorreu um comportamento de alimentação diferente, visto que o mesmo foi adaptado para funcionar apenas com uma única seção. O regime de alimentação foi realizado durante 4 dias, no entanto, em contramão ao 1º estágio do sistema de WC, seu período de descanso foi de aproximadamente 3 dias. Ressalta-se que a alimentação dos dois estágios foi realizada em paralelo (Quadro 5).

Quadro 5: Cronograma de funcionamento dos dois estágios do Wetland

Dias		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
Estágio 1	Seção 1	X	X	X	X	O	O	O	O	O	O
	Seção 2	O	O	O	O	O	O	O	X	X	X
Estágio 2	Única seção	X	X	X	X	O	O	O	X	X	X

X = funcionamento; O = descanso.

Em ambos os estágios a alimentação ocorreu de forma superficial, por meio de tubulação com diâmetro nominal de 25 mm, apresentando furos laterais de 4mm distribuídos a cada 10 cm. Após o efluente percolar por meio do substrato filtrante de cada estágio o mesmo foi coletado por um dreno localizado no fundo do leito de cada estágio do sistema.

4.4 ROTINA DE ANÁLISE LABORATORIAL.

As análises foram realizadas semanalmente, considerando-se o regime de alimentação em operação, ao todo, foram coletadas amostras de 3 pontos ao longo do sistema, sendo, o efluente bruto, o efluente do estágio 1 e o efluente do estágio 2. Ressalta-se, que se por ventura ou força maior a coleta não pudesse ser realizada, descartava-se a semana e as análises eram feitas na semana seguinte. Foram realizadas as análises físico-químicas, considerando os parâmetros de Alcalinidade Total, Demanda Química de Oxigênio (DQO), Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), Nitrito, Nitrato, pH e fósforo, Tabela 3. As metodologias de realização das análises ocorreram de acordo com *Standard Methods of Examination for Water and Wastewater* (APHA, 2012).

Tabela 3 - Metodologia e frequência de análise físico-química

Parâmetro	Método analítico
Alcalinidade Total (mgCaCO ₃ L ⁻¹)	Titulométrico Potenciométrico – Standard Methods 2320 B
DQO (mgDQO L ⁻¹)	Digestão em Refluxo Fechado – Colorimétrico – Standard Methods 5220 D
Fosfato (mg L ⁻¹)	Colorimétrico - Standard Methods 4500-P C - Ácido Vanadomolibdofosfórico (APHA, 2012).
N-NTK (mg L ⁻¹)	Método Titulométrico – Standard Methods 4500-Norg B
Nitrito (mgNO ₂ -N L ⁻¹)	Colorimétrico – Standard Methods 4500-NO ₂ - B
Nitrato (mgNO ₃ -N L ⁻¹)	Colorimétrico – Standard Methods 4500 – NO ₃ - B
pH	Eletrométrico – Standard Methods 4500-H+ B

Fonte: Standard Methods of Examination for Water and Wastewater

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados apresentados referem-se a análise físico-química dos principais parâmetros envolvidos no processo de tratamento de efluentes domésticos, considerando as diferenças nas taxas de aplicação superficial do sistema de (WCFV^F). Os resultados serão apresentados de acordo com os parâmetros, e condições da taxa de aplicação, observa-se, que os resultados foram tabulados de acordo com cada etapa do sistema, sendo eles denominados, E (esgoto Bruto), I (saída do primeiro estágio) e II (saída do segundo estágio).

5.1 MONITORAMENTO

5.1.1 Alcalinidade Total e pH

A alcalinidade refere-se à capacidade de tamponamento do meio, ou seja, a eficácia de neutralização de ácidos fracos, promovendo, desta forma, maior estabilidade em relação a mudanças abruptas no potencial hidrogeniônico (pH). O pH, por sua vez, expressa a concentração de íons de hidrogênio do meio, de acordo com a classificação do potencial as soluções podem ser denominadas como ácidas, neutras ou básicas.

A Tabela 4 descreve as condições de vazão e taxa de aplicação superficial para cada regime de alimentação do sistema (pulsos por dia).

Tabela 4 – Vazão e taxa de aplicação do sistema

PARÂMETROS	TAXA DE ALIMENTAÇÃO) (PULSOS POR DIA)			UNIDADES	
	2	6	8		
VAZÃO	0,05	0,15	0,2	m ³ /d	
TAXA DE APLICAÇÃO SUPERFICIAL	Estágio 1	0,04	0,13	0,18	m/d
	Estágio 2	0,05	0,15	0,2	m/d

Em seguida (Tabela 5), observa-se os valores referente ao número de amostras, índices máximos, mínimo e média, desvio padrão (DV) dos parâmetros, assim como, a carga aplicada (C.A).

Tabela 5 – Comparativo em função da taxa superficial de alimentação

Nº AMOSTRAS	TAXA DE ALIMENTAÇÃO	VALORES	ALCALINIDADE (mg/L.CaCO ₃)			pH		
			I	II	E	I	II	E
8	2	Máximo	180,97	46,04	73,23	8,3	8,03	5,02
		Mínimo	43,90	19,40	*	7,05	7,39	4,36
		Média	92,03	26,39	25,39	7,31	7,89	4,71
		C.A	4,60	1,32	1,27	0,37	0,39	0,23
10	6	Máximo	231,75	178,60	102,38	8,1	8,15	5,56
		Mínimo	90,74	17,51	*	6,16	6,4	4,47

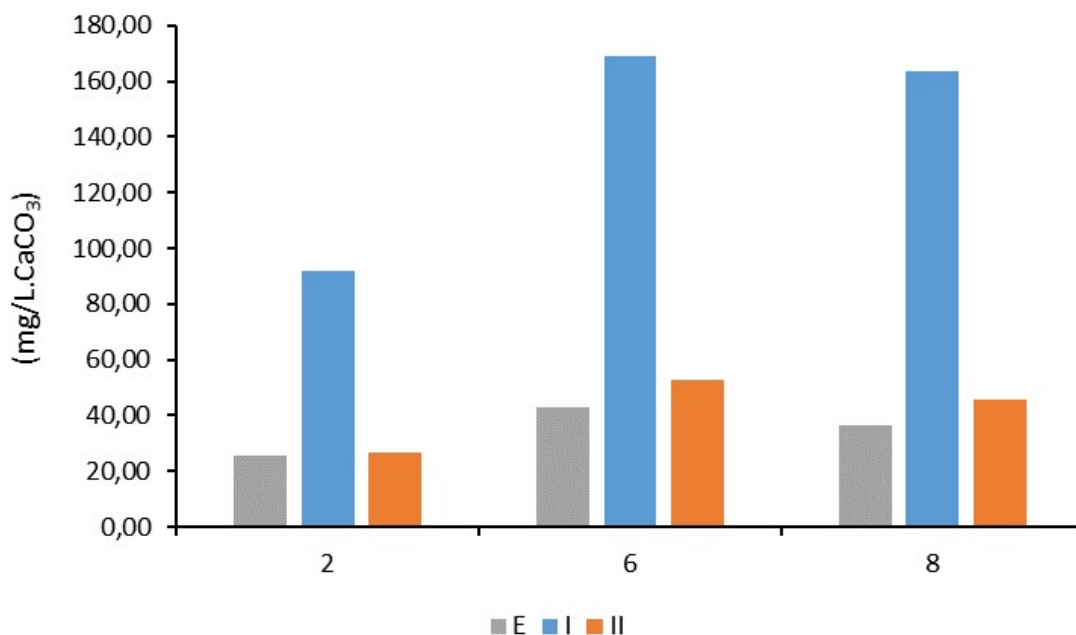
8	8	Média	168,84	52,59	43,04	7,75	7,55	4,95
		C.A	25,33	7,89	6,46	1,14	1,11	0,75
		Máximo	181,48	123,29	76,94	7,94	8,32	4,98
		Mínimo	131,22	24,61	*	7,47	6,67	4,36
		Média	163,73	45,60	36,40	7,72	7,83	4,76
		C.A	32,75	9,12	7,28	1,55	1,52	0,95

*Não Detectável

Observa-se, que o maior valor médio, considerando os três regimes de alimentação do sistema (2, 6 e 8 pulsos/dia), foi registrado no estágio I (168,84 mg/L.CaCO₃), com o regime de 6 pulsos/dia, nota-se, que o maior valor registrado para o parâmetro alcalinidade total, pertence, também, a este mesmo ponto. Nunes 2018, ressalta, em trabalho semelhante, que o comportamento crescente observado no valor médio do parâmetro, partindo do bruto ao primeiro estágio, seria consequência do processo de desnitrificação que ocorre na camada anóxica do biofilme. Observa-se, ainda, que após um crescente aumento nos valores registrados após o primeiro estágio, ocorre uma queda abrupta nos valores observados. Ressalta-se, que esse comportamento é esperado, de forma que, evidencia o processo de nitrificação do meio, que tende a diminuir os valores registrados após a passagem pelo segundo estágio do sistema.

Esse comportamento pode ser melhor observado no Gráfico 1, a seguir.

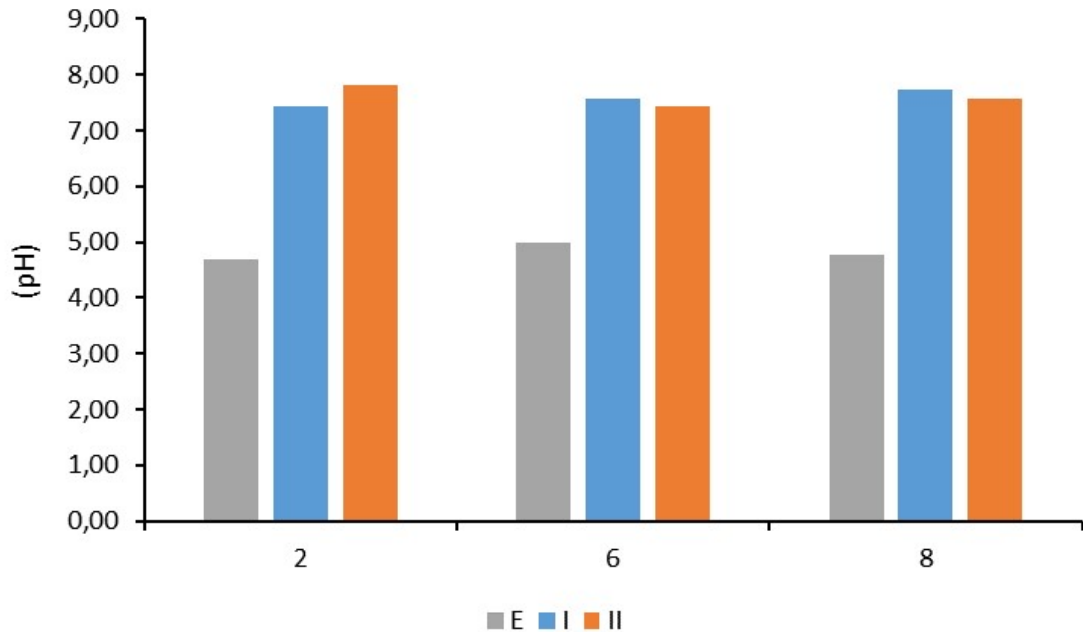
Gráfico 1 – Concentrações médias em função da taxa superficial de alimentação de Alcalinidade total (mg/L.CaCO₃)



Comparativamente, entre as condições de alimentação do sistema, observa-se que não há grande amplitude de variação entre os valores observados, nota-se, que em ambos os regimes de alimentação do sistema, o comportamento de maior valor médio registrado ocorreu para o estágio 1 (I), voltando a decair após a aplicação pelo estágio 2 (II). Contudo, observa-se que ao se comparar os três regimes de alimentação, nota-se, que os valores para este parâmetro nas condições de alimentação referente a 2 (dois) pulsos por dia, apresentam os menores valores observados.

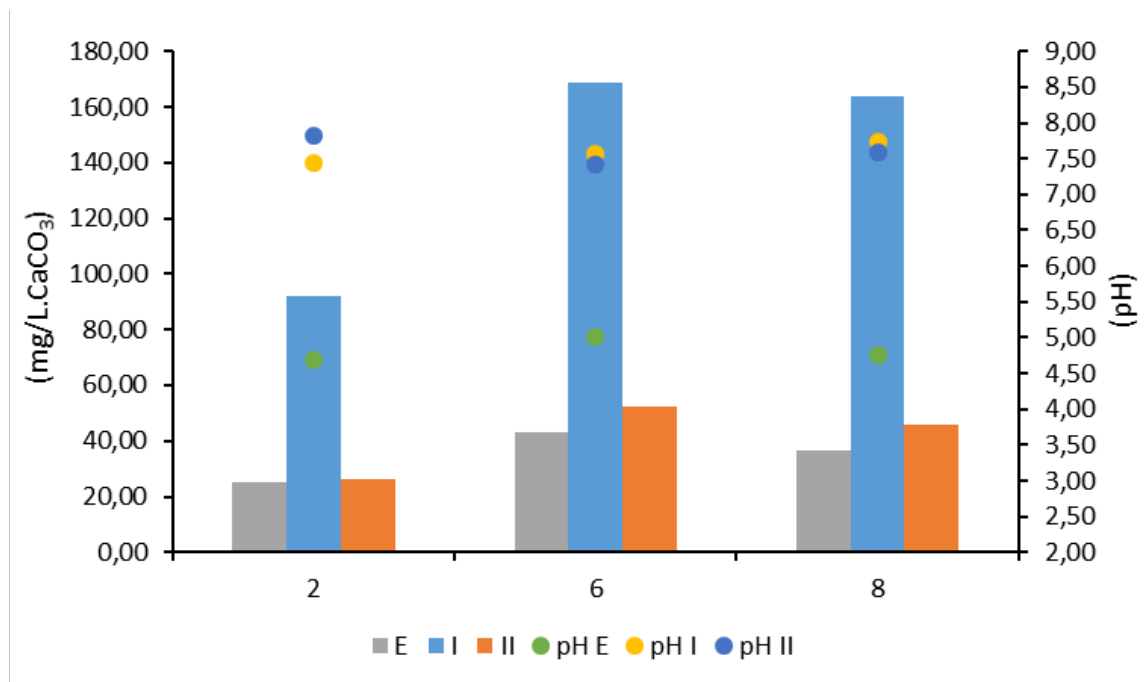
Observa-se, ainda, segundo a Tabela 5, que os valores médios de pH não sofreram variações significativas em função da mudança da taxa de alimentação do sistema. O máximo valor registrado para o parâmetro foi de 8,32 (estágio 2), considerando uma taxa de alimentação de 8 pulsos/dia. No entanto, ao se observar os valores de entrada e saída de cada estágio, sendo eles, I (estágio 1), II (estágio 2) e E (bruto), nota-se uma grande capacidade do sistema de estabilizar o pH (Gráfico 2).

Gráfico 2 – Concentrações médias de pH em função da taxa superficial de alimentação



Nota-se, que a capacidade de estabilização do parâmetro não sofre influência em função da taxa de alimentação superficial. O Gráfico 3 apresenta a comparação das concentrações médias de pH e alcalinidade total.

Gráfico 3 – Comparação das concentrações médias de pH e alcalinidade total



Observa-se (Gráfico 3), que as concentrações médias iniciais de pH, que entram no sistema, apresentam valores médios em torno de 4,82, no entanto, após passar pelo estágio 1, apresentam características de neutralidade (em torno de 7).

Ressalta-se que o parâmetro alcalinidade não é um condicionante exigido pela Resolução CONAMA 430/2011. No entanto, a Resolução determina um valor máximo permitido (VMP), para o parâmetro pH, variando entre 5 e 9.

Nota-se, portanto, considerando os três regimes de alimentação do sistema, que o parâmetro pH atende o VMP instituído pela Resolução CONAMA 430/2011.

5.1.2 Série Nitrogenada

5.1.2.1 Nitrogênio Total Kjeldahl e Nitrato

A série nitrogenada é composta por uma série de parâmetros ligadas ao nitrogênio, afim de se obter o valor de nitrogênio total de uma amostra. Este, por sua vez, é o resultado da combinação de moléculas orgânicas e inorgânicas. Observa-se a seguir (Tabela 6), os dados referentes a alguns dos componentes analisados da série nitrogenada.

Tabela 6 – Comparativo dos parâmetros em função da taxa superficial de alimentação

Nº AMOSTRAS	TAXA DE ALIMENTAÇÃO	VALORES	NTK (mg/L)			NO ₃ (mg/L)		
			I	II	E	I	II	E
8	2	Máximo	62,50	06,89	136,36	0,17	0,05	0,69
		Mínimo	23,52	*	43,12	0,02	0,01	0,02
		Média	32,59	1,83	86,03	0,105	0,02	0,26
		C.A	1,63	0,09	4,30	0,21	0,05	0,53
10	6	Máximo	67,70	5,07	130,31	0,34	0,82	0,86
		Mínimo	37,41	1,20	53,20	0,02	0,01	0,02
		Média	54,73	2,61	93,88	0,21	0,63	0,40
		C.A	8,21	0,39	14,08	0,03	0,09	0,06
8	8	Máximo	61,49	45,05	154,00	0,34	0,74	0,85
		Mínimo	33,15	*	41,27	0,13	0,05	0,17
		Média	45,09	2,09	77,59	0,23	0,56	0,41
		C.A	9,02	0,42	15,52	0,05	0,11	0,08

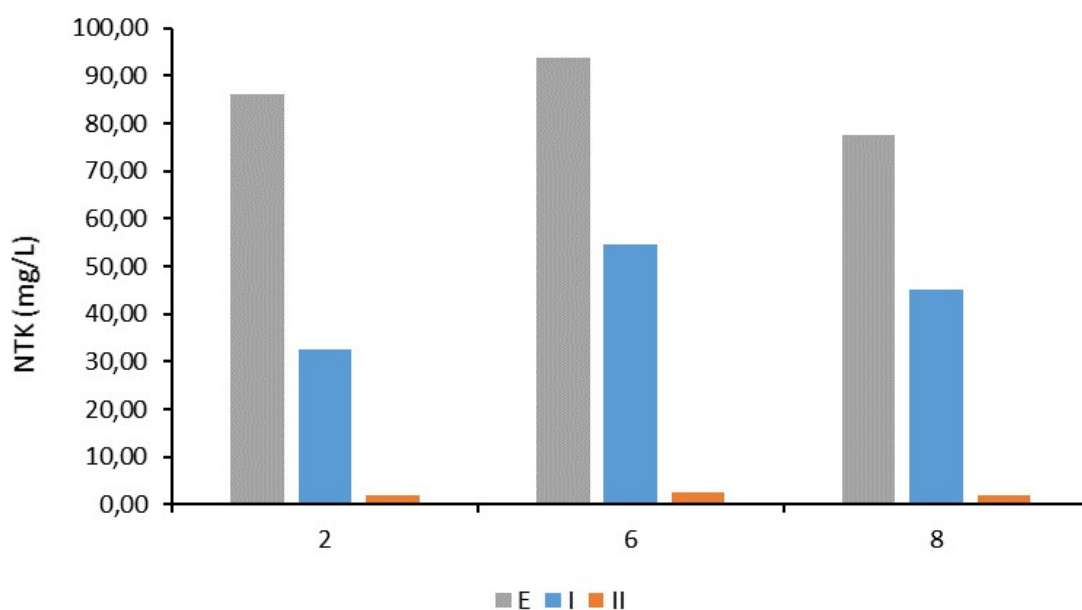
*Não Detectável

Observa-se, segundo Tabela 6, que os maiores valores de Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK) foram registrados no efluente bruto (E). Nota-se, que as maiores médias foram observadas, considerando o sistema de alimentação de seis (6)

pulsos por dia (54,73 mg/L), (2,61 mg/L) e (93,88 mg/L), respectivamente, para o estágio 1, estágio 2 e o efluente bruto.

Ressalta-se, que segundo os dados observados, evidencia-se uma redução do parâmetro NTK ao longo do sistema, nota-se, portanto, a ocorrência de amonificação no estágio 1, seguido do processo de desnitrificação no estágio 2 (Gráfico 4).

Gráfico 4 – Concentrações médias em função da taxa superficial de alimentação de NTK (mg/L)

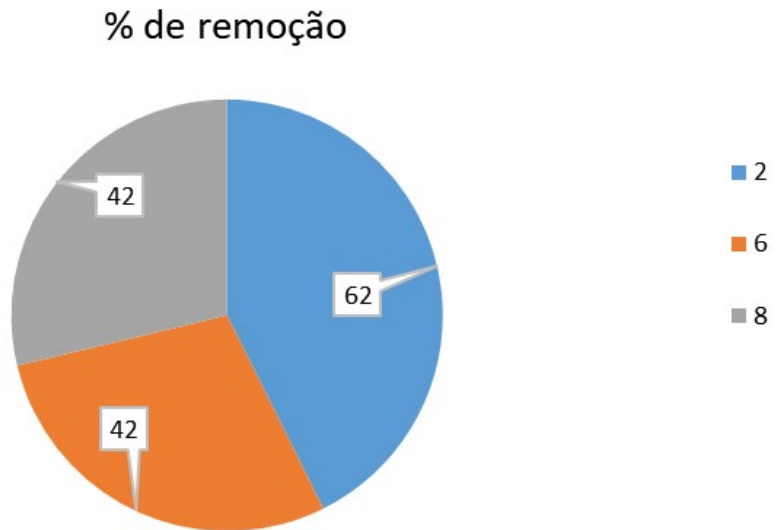


Sistemas de (WCFV) tendem a apresentar ambientes favoráveis a formação de ambientes oxidativos, como é o caso do primeiro estágio do sistema Francês. Ressalta-se que a configuração de alimentação, proporciona o arraste de oxigênio para o maciço filtrante, beneficiando assim, processos relacionados a nitrificação e amonificação do sistema.

Nota-se, que os valores médios do parâmetro, ao final do primeiro estágio, foram de 32, 54 e 45 mg/L, observadas as condições de operações de 2, 6 e 8 pulsos por dia, respectivamente. Trein, et al, 2015, ressalta que os principais mecanismos de remoção do nitrogênio orgânico (que faz parte da fração de NTK), são processos bioquímicos de nitrificação e desnitrificação.

Sezerino, 2006, ressalta, em estudo semelhante, a conversão de amônia para nitrato em torno de 45 e 64%.

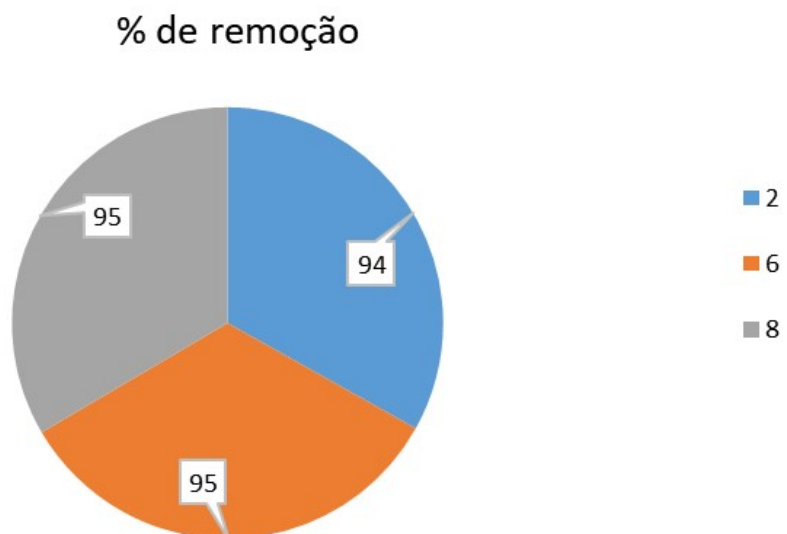
Gráfico 5 – Índice de remoção média em função da taxa superficial de alimentação de NTK, para o estágio 1 do sistema



Segundo o Gráfico 5, observa-se, que o maior índice de remoção do parâmetro NTK, considerando o estágio 1 do sistema de (WCFV^F), foi de 62%, enquanto o menor índice de remoção foi de 42%. Resultados condizentes com trabalhos anteriormente descritos.

Observa-se, ainda, segundo Gráfico 6, os dados de remoção do segundo estágio do sistema.

Gráfico 6 – Índice de remoção média em função da taxa superficial de alimentação de NTK, para o estágio 2 do sistema



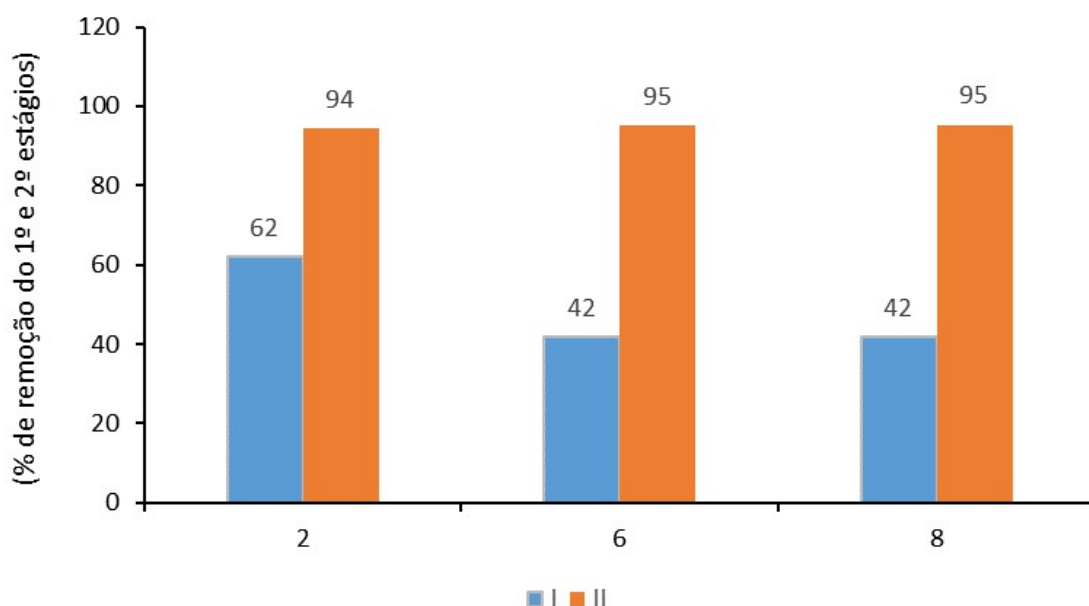
Observa-se, que ao considerarmos o estágio 2 do sistema, o maior índice de remoção foi registrado, considerando uma taxa superficial de aplicação de 6 e 8 pulsos por dia (95%), seguido de 2 pulsos por dia (94%).

Comparativamente, Nunes 2018, em trabalho semelhante, encontrou valores de remoção do parâmetro com taxas de 58,7%, considerando o estágio 1, e 90%, considerando o estágio 2 do sistema, ambos com uma taxa superficial de aplicação de 4 pulsos por dia.

Ressalta-se que o uso do fundo saturado, no estágio 2, corrobora para promover índices de remoção maiores ao sistema, proporcionando condições aeróbicas na camada superior do maciço filtrante, seguido de condições anaeróbica no fundo saturado, promovendo condições essenciais para o processo de desnitrificação.

A seguir (Gráfico 7), nota-se a comparação entre a porcentagem de remoção entre os parâmetros.

Gráfico 7 – Comparação entre os índices de remoção média em função da taxa superficial de alimentação de NTK para o 1º e 2º estágios do sistema.

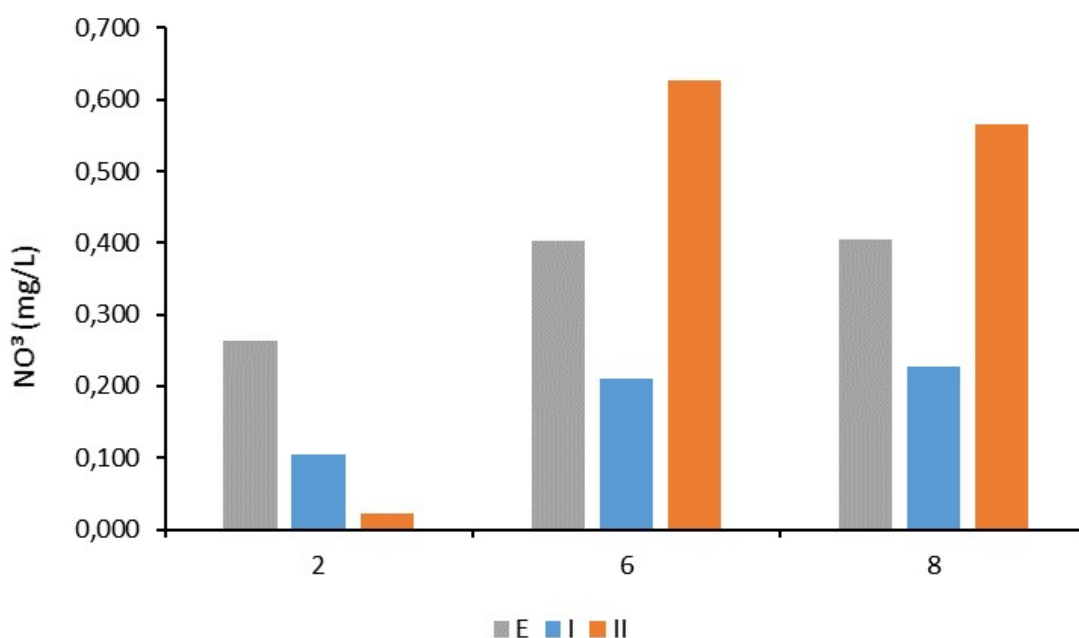


Observa-se, que em todos os regimes de alimentação do sistema, o estágio 2 apresentou uma melhor condição de remoção do parâmetro, ressalta-se, que o fundo saturado de 0,25m do estágio 2, proporciona condições ideais para o processo de amonificação, nitrificação e desnitrificação do nitrogênio.

5.1.2.2 Nitrato e Nitrito

Observa-se, que não foram encontrados valores relevantes para o parâmetro nitrito, durante toda a série de análise. Esse resultado pode estar associado ao processo de nitrificação, convertendo nitrito a nitrato. Ressalta-se, comportamento oposto em relação ao parâmetro nitrato, nota-se, segundo Tabela 6, que os valores máximos do parâmetro nitrato foram registrados no estágio 2 do sistema, considerando a taxa de aplicação superficial de 6 pulsos por dia (0,626 mg/L) e 8 pulsos por dia (0,56 mg/L), conforme Gráfico 8.

Gráfico 8 – Concentrações médias em função da taxa superficial de alimentação de Nitrato (NO_3) (mg/L)



Observa-se, conforme supramencionado, que os maiores valores médios do parâmetro ocorreram no estágio 2 do sistema, comportamento esperado, em decorrência da oxidação da amônia em virtude do processo de hidrólise da fração orgânica do nitrogênio, comumente encontrado em efluentes domésticos, nota-se, segundo Nunes 2018, comportamento semelhante.

5.1.2.3 Nitrogênio Amoniacal

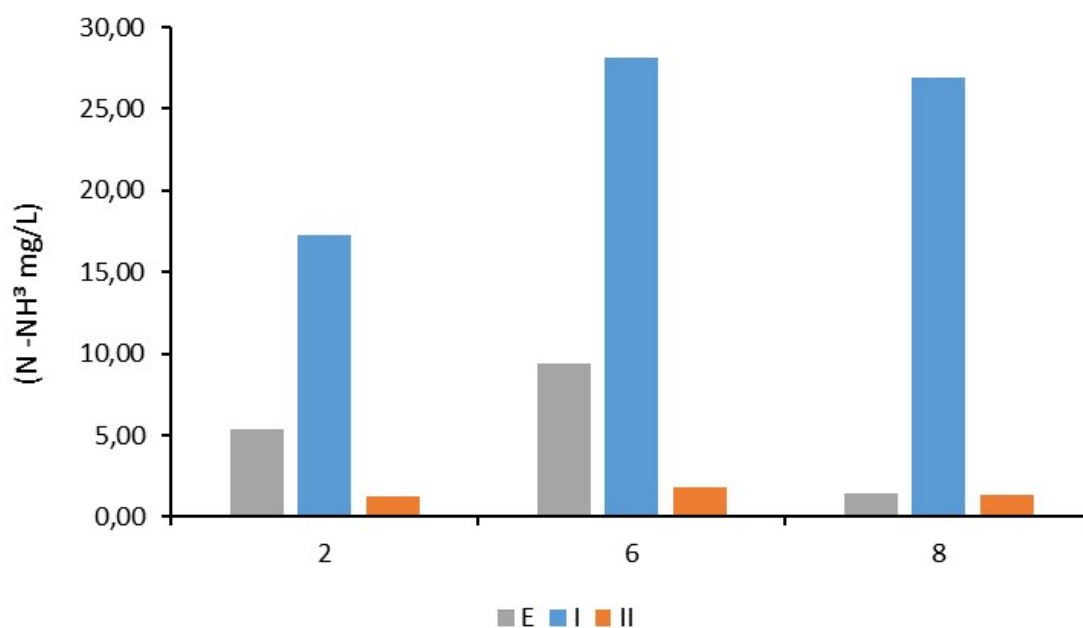
A seguir (Tabela 7), os resultados de concentração, valores máximos e mínimos, média e Carga Aplicada para o parâmetro nitrogênio amoniacal.

Tabela 7 – Comparativo em função da taxa superficial de alimentação e N- Amoniacal

Nº AMOSTRAS	TAXA DE ALIMENTAÇÃO	VALORES	N-NH ₃ (mg/L)		
			I	II	E
8	2	Máximo	31,81	06,02	30,80
		Mínimo	08,68	*	*
		Média	17,31	1,29	5,41
		C.A	0,86	0,06	0,27
10	6	Máximo	35,30	6,38	24,39
		Mínimo	16,69	*	*
		Média	28,17	1,84	9,39
		C.A	4,22	0,27	1,41
8	8	Máximo	35,36	2,16	5,32
		Mínimo	22,74	00,25	*
		Média	26,91	1,38	1,48
		C.A	5,38	0,27	0,29

*Não Detectável

Observa-se, que independente do regime de alimentação os valores de referência do parâmetro aumentaram do efluente bruto para o efluente do primeiro estágio (amonificação), ressalta-se, ainda, que o nitrogênio amoniacal é oxidado, conforme observado no Gráfico 9.

Gráfico 9 – Concentrações médias em função da taxa superficial de alimentação de N-NH₃ (mg/L)

5.1.2.4 Nitrogênio Total

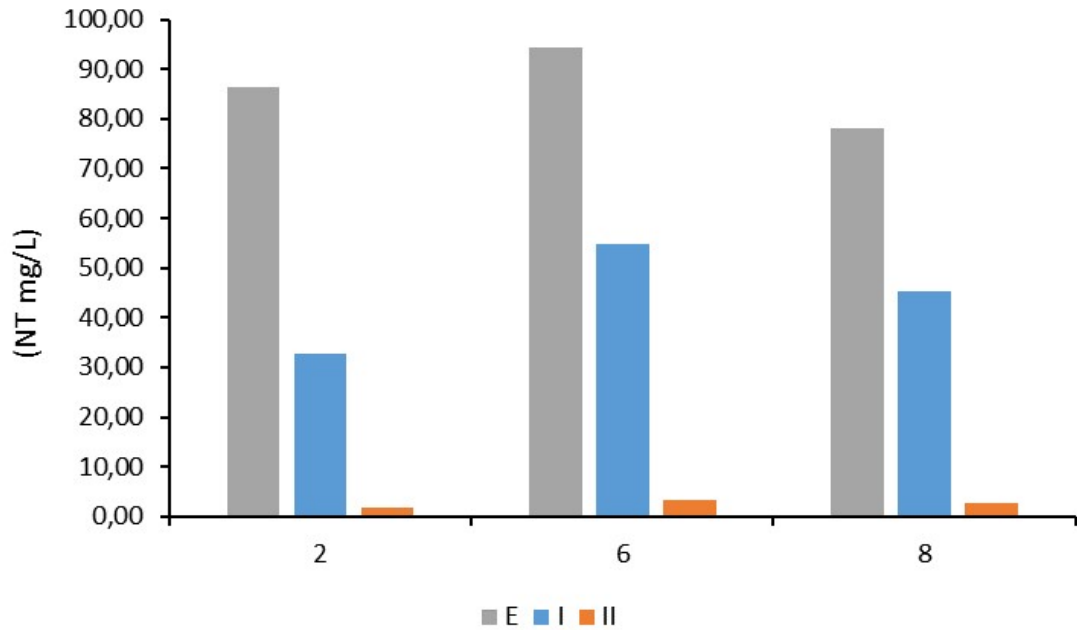
Os valores referentes as concentrações do parâmetro, podem ser observadas a seguir (Tabela 8).

Tabela 8 – Comparativo em função da taxa superficial de alimentação

Nº AMOSTRAS	TAXA DE ALIMENTAÇÃO	VALORES	NT (mg/L)		
			I	II	E
8	2	Máximo	62,65	06,91	136,75
		Mínimo	23,64	*	43,29
		Média	32,70	1,85	86,32
		C.A	1,63	*	4,32
10	6	Máximo	68,04	57,13	130,87
		Mínimo	03,49	01,97	53,44
		Média	49,79	13,70	94,28
		C.A	7,47	2,05	14,14
8	8	Máximo	61,80	45,73	154,85
		Mínimo	33,34	*	41,44
		Média	45,31	8,03	77,99
		C.A	9,06	1,61	15,60

*Não Detectável

Observa-se, considerando os dois estágios do sistema, assim como, as três taxas de alimentação superficial, que o índice registrado de remoção do NT, conforme avançava-se o sistema, diminuiu. Nota-se, que o maior valor observado entre os dois estágios, ocorreu no estágio 1, com uma taxa de aplicação de 6 pulsos dia, no entanto, observa-se, que o maior valor para o parâmetro, considerando os dados médios brutos, foi no mesmo período, logo, o maior valor registrado no estágio 1 pode ter ocorrido em decorrência do maior valor médio do parâmetro no efluente bruto (Gráfico 10).

Gráfico 10 – Concentrações médias em função da taxa superficial de alimentação de NT (mg/L)

Observa-se o processo de redução do parâmetro a cada estágio do sistema. Nota-se, que entre a entrada do efluente bruto (E) e o primeiro estágio do sistema, já é possível evidenciar uma queda significativa do parâmetro, em decorrência do processo de nitrificação.

A nitrificação pode ser esclarecida como transformação da amônia em nitrito e posteriormente a nitrato. A seguir (Gráfico 11, 12), observa-se os índices de remoção do parâmetro, considerando os estágios do sistema, separadamente.

Gráfico 11 – Índice de remoção média em função da taxa superficial de alimentação de NT, para o estágio 1 do sistema

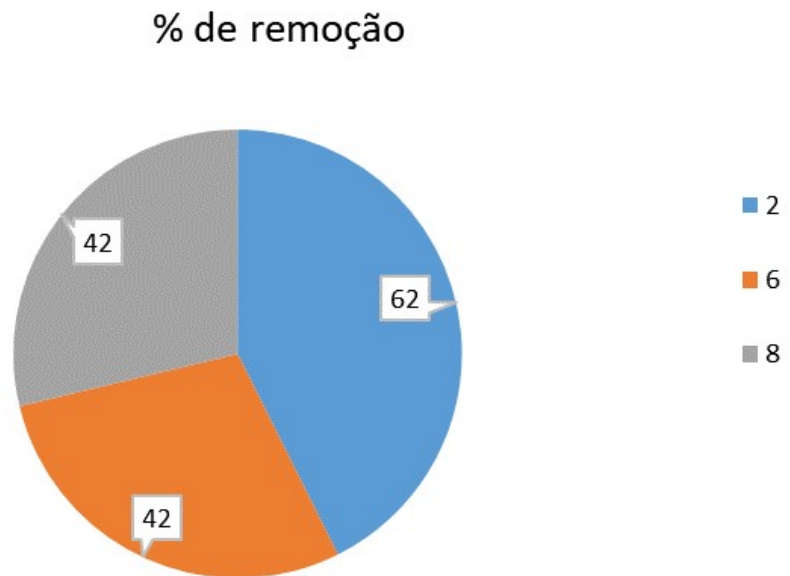
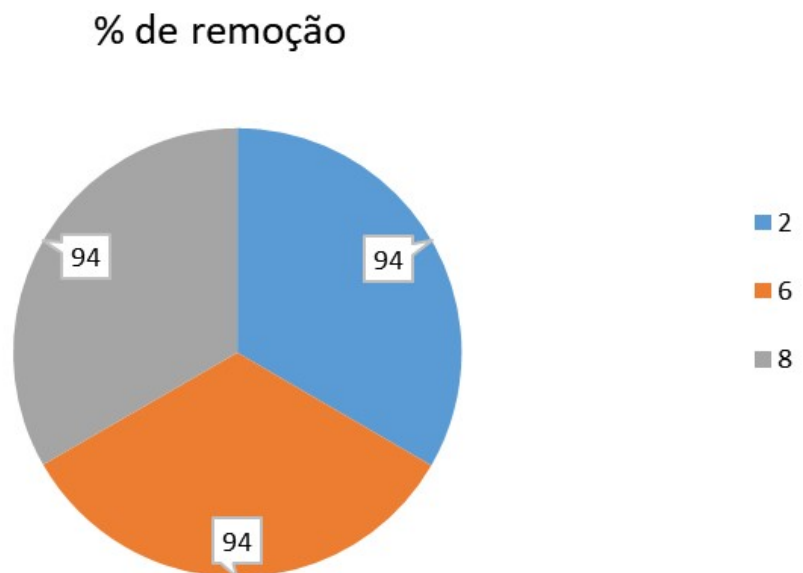


Gráfico 12 – Índice de remoção média em função da taxa superficial de alimentação de NT, para o estágio 2 do sistema



Observa-se, que os índices de remoção do primeiro estágio atingiram um valor máximo de 62% de remoção do parâmetro, Nunes, 2018, em trabalho semelhante, encontrou valores médios de remoção de 56% para o estágio 1 e 76% para o

estágio 2. Nota-se o desempenho superior de remoção para o estágio 2 do sistema, comportamento possivelmente oriundo do fundo saturado de 0,25m, que proporciona ambiente anóxico resultando em um processo de desnitrificação, convertendo nitrato a óxido nítrico e nitroso e posteriormente em nitrogênio gasoso.

5.1.3 Fosfato

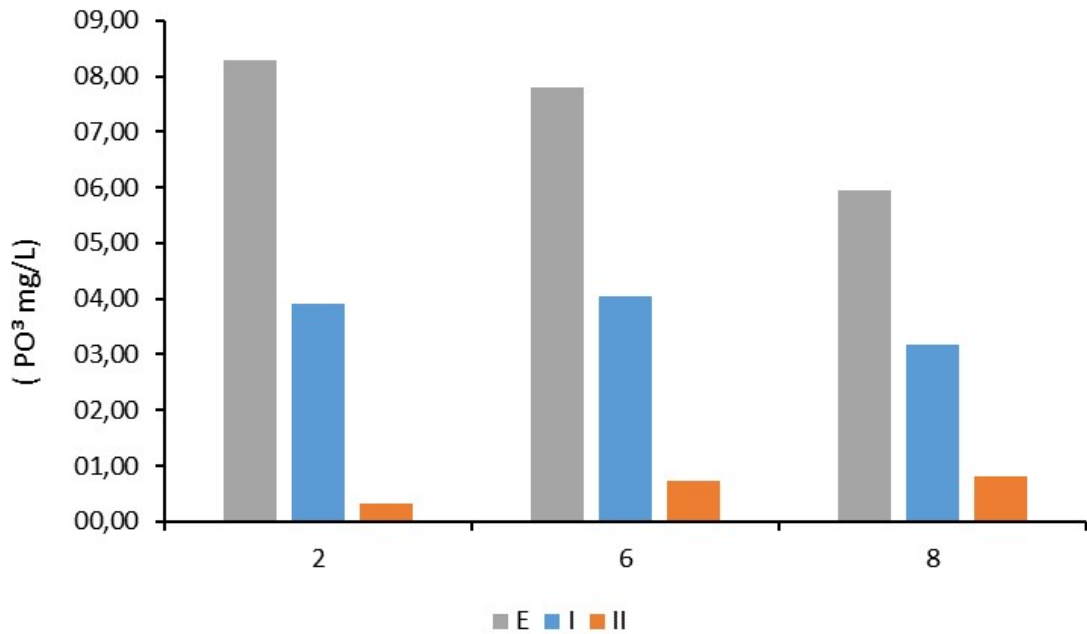
O fosfato total mede as diversas formas de fosfato que são convertidas para ortofosfato ou fósforo inorgânico dissolvido (PO^3) durante oxidação por digestão ácida. A seguir serão apresentados os dados relacionados a valores máximos, mínimos, concentração, médias, desvio e carga aplicada do parâmetro (Tabela 9).

Tabela 9 – Comparativo em função da taxa superficial de alimentação

Nº AMOSTRAS	TAXA DE ALIMENTAÇÃO	VALORES	FOSFATO (mg/L)		
			I	II	E
8	2	Máximo	6,47	1,00	12,08
		Mínimo	0,70	0,00	5,72
		Média	3,90	0,33	8,27
		C.A	0,20	0,02	0,41
10	6	Máximo	8,97	0,98	17,07
		Mínimo	2,84	0,17	3,31
		Média	4,05	0,72	7,81
		C.A	0,61	0,11	1,17
8	8	Máximo	1,10	8,45	0,00
		Mínimo	0,72	0,53	1,64
		Média	3,19	0,82	5,96
		C.A	0,64	0,16	1,19

Observa-se, que o valor médio máximo, considerando o estágio 1 e 2, foi registrado no ponto referente a taxa de aplicação de 6 pulsos dias, nota-se, ainda, uma queda abrupta em comparação ao estágio 1 e 2, em todos os regimes de alimentação (Gráfico 13).

Gráfico 13 – Concentrações médias em função da taxa superficial de alimentação de Fosfato (mg/L)



Observa-se, segundo Gráfico 13, que as concentrações variaram de acordo com o regime de alimentação superficial do sistema, no entanto, o comportamento do sistema manteve-se homogêneo (ao se comparar os três fluxos de alimentação superficial).

Segundo Von Sperling (1996), as concentrações médias do parâmetro variam de 3 mg/L a 9 mg/L, considerando o efluente como esgoto doméstico. Ressalta-se que os valores médios foram de 3,90 mg/L, 4,05 mg/L, 3,19 mg/L, considerando os três fluxos de alimentação do estágio 1 do sistema. Nota-se que os valores médios sofrem alterações em função das atividades relacionadas a geração do efluente.

Ressalta-se, a seguir, os gráficos 14 e 15 com a porcentagem de redução do parâmetro.

Gráfico 14 – Índice de absorção média em função da taxa superficial de alimentação de Fosfato Total, para o estágio 1 do sistema

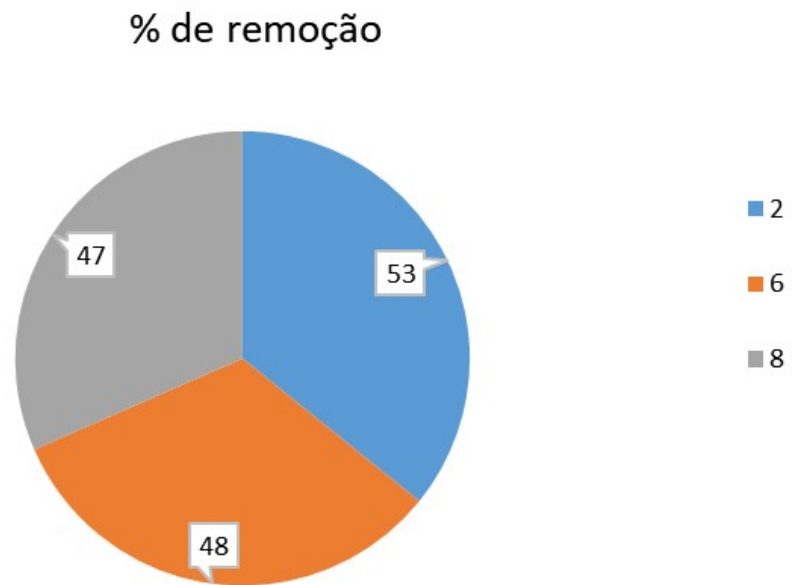
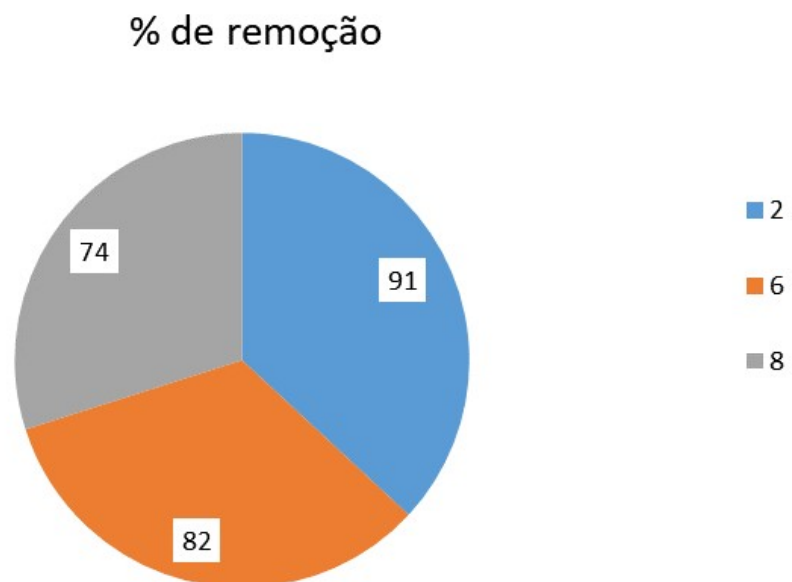


Gráfico 15 – Índice de absorção média em função da taxa superficial de alimentação de Fosfato Total, para o estágio 2 do sistema



Observa-se, que os índices de absorção do parâmetro foram em torno de 50% já no estágio 1 do sistema, chegando a 90% no estágio 2.

Trein, et al, 2015, ressalta que a remoção do parâmetro ocorre em função da adsorção química no material filtrante, principal mecanismo de remoção do

parâmetro, e indica uma taxa de remoção de 61% e 93%, considerando o primeiro e segundo estágio do sistema, respectivamente.

5.1.4 Demanda Química de Oxigênio

Ressalta-se que a Demanda Química de Oxigênio (DQO) é um importante parâmetro para identificar a relação de matéria orgânica (M.O) disponível no efluente. Entende-se que a DQO é o processo de oxidação química da M.O, logo que, o parâmetro identifica a quantidade de oxigênio dissolvido consumido para oxidar a M.O.

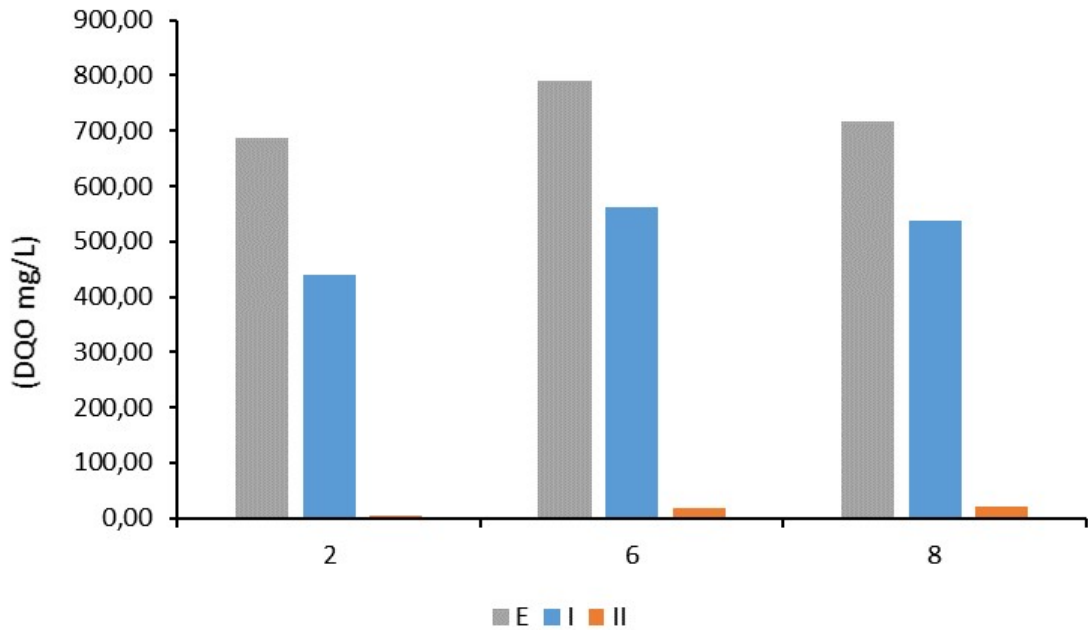
Na Tabela 10, são apresentadas as relações de concentração, valor máximo, mínimo, C.A e média para o parâmetro. Ressalta-se que os resultados de concentração de DQO para o estágio II foram realizados utilizando uma curva de concentração para DQO de baixa concentração.

Tabela 10 – Comparativo em função da taxa superficial de alimentação

Nº AMOSTRAS	TAXA DE ALIMENTAÇÃO	VALORES	DQO (mg/L)		
			I	II	E
8	2	Máximo	992,47	26,37	982,62
		Mínimo	9,99	*	337,56
		Média	438,90	5,15	687,41
		C.A	21,94	0,26	34,37
10	6	Máximo	893,23	43,20	942,93
		Mínimo	295,31	2,38	607,99
		Média	560,53	17,49	788,86
		C.A	84,08	2,62	118,32
8	8	Máximo	744,38	35,63	965,26
		Mínimo	339,45	8,27	424,62
		Média	538,45	21,26	715,69
		C.A	107,69	4,25	143,13

Observa-se que o maior valor médio para o parâmetro foi registrado no foi registrado no estágio 1 do sistema, com um regime de alimentação superficial igual a 6 pulsos por dia.

Gráfico 16 – Concentrações médias em função da taxa superficial de alimentação de DQO (mg/L)



Observa-se que o comportamento de redução do parâmetro ocorreu de forma homogênea, independente da taxa de alimentação aplicada. Nota-se uma queda abrupta entre as concentrações de entrada do efluente bruto (E) e ao final do processo (estágio 2), conforme demonstrado nos gráficos 17 e 18.

Gráfico 17 – Índice de remoção média em função da taxa superficial de alimentação de DQO, para o estágio 1 do sistema

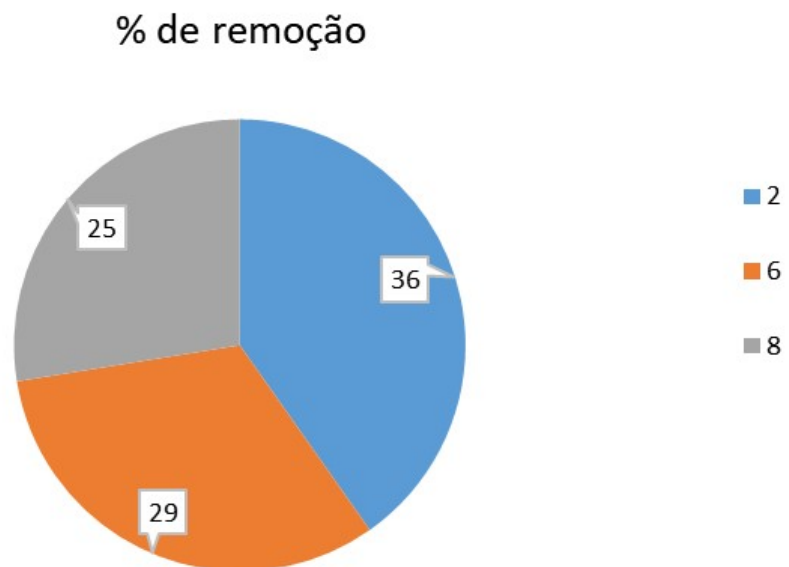
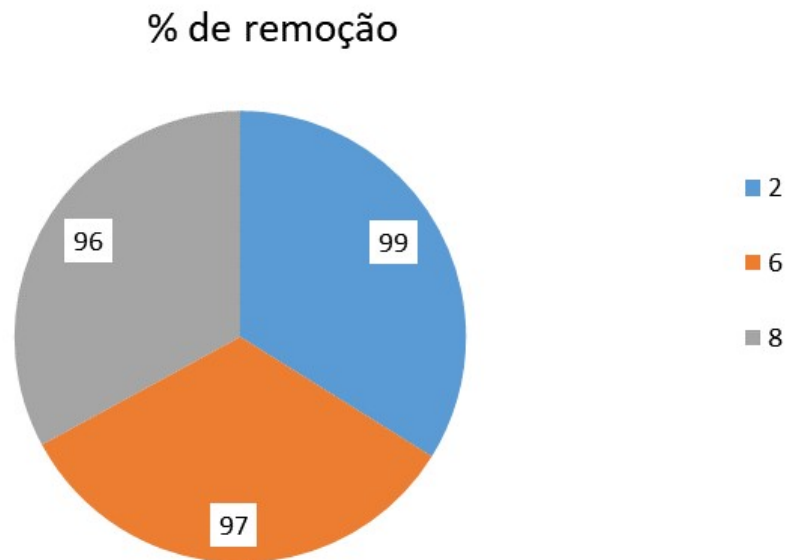


Gráfico 18 – Índice de remoção média em função da taxa superficial de alimentação de DQO, para o estágio 2 do sistema



Acima, observa-se os índices de remoção do parâmetro, ressalta-se que a maior variação de remoção em função do fluxo de alimentação foi registrada no estágio 1, onde, observa-se que o fluxo de 2 pulsos dia foi o que proporcionou uma maior redução do parâmetro.

Ressalta-se, que os principais índices de remoção do parâmetro estão associados ao processo de filtração do maciço filtrando que compõem o sistema. Observa-se que os maiores índices de remoção ocorreram no estágio 2, onde, nota-se, uma camada superior de areia média, o que proporcionaria condições mais favoráveis de redução.

6 CONCLUSÃO

Observa-se, que em geral considerando os parâmetros analisados, o sistema apresenta um bom índice de remoção dos principais constituintes de efluente domésticos.

O sistema não apresentou variações relevantes em relação ao comportamento de pH e alcalinidade total, em função do aumento da taxa de aplicação superficial máxima (8 pulsos por dia), portanto o aumento na taxa de alimentação do sistema não interferiu na capacidade de tamponamento do sistema, logo que, foi observado o aumento do pH do efluente bruto em relação ao efluente do primeiro e segundo estágio.

O sistema apresentou bons índices de remoção em relação a série nitrogenada (NTK, Nitrato e NT). A estação 2 do sistema, em relação ao parâmetro NTK, apresentou os maiores índices de remoção, comparando os regimes de alimentação. Nota-se, que a maior eficiência ocorreu com a aplicação diária de dois pulsos, contudo, o sistema apresentou ainda, altos índices de remoção mesmo operando a uma taxa de aplicação superficial de 8 pulsos dia ($0,2 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$).

Ao analisarmos os dados de NT, observa-se que o sistema reduz em quase 50% o valor do parâmetro, já na primeira etapa (estágio 1), contudo, nota-se ainda, uma redução de aproximadamente 95 % no segundo estágio do sistema.

Comparativamente, no primeiro estágio do sistema, a taxa de alimentação que teve um maior índice de remoção de NT foi considerando o regime de 2 pulsos por dia, comportamento semelhante ao segundo estágio. Ressalta-se, que apesar da menor taxa de alimentação promover o maior índice de remoção do parâmetro, ao considerarmos a maior taxa de alimentação o índice é superior a 40 e 70%, respectivamente, para os estágios 1 e 2.

Ressalta-se os índices de remoção do parâmetro DQO, principalmente no estágio 2 do sistema, com remoção superior a 95%.

7 REFERÊNCIAS

BEGOSSO, L. **Determinação de parâmetros de projeto e critérios para dimensionamento e configuração de wetlands construídas para tratamento de água cinza.** Trabalho de Conclusão de Curso (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais, 2009.

DALBOSCO, V. **Projeto de concepção de um sistema de Wetlands construídos em modelo francês na cidade de Nova Trento - SC.** Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. [s.l: s.n.].

DEGEN, J. **AVALIAÇÃO DE SISTEMAS LOCAIS DE WETLANDS CONSTRUIDOS DE FLUXO VERTICAL APLICADOS NO TRATAMENTO DE ESGOTOS EM EMPREENDIMENTOS COMERCIAIS E INDUSTRIAIS.** Trabalho de Conclusão de Curso apresentado na Universidade Federal de Santa Catarina. [s.l: s.n.].

Esgoto - Trata Brasil. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/saneamento/principais-estatisticas/no-brasil/esgoto>>. Acesso em: 22 nov. 2019.

FERREIRA, C. J.; PEREIRA, M. S. S.; LUÍS, P. F. . **ANÁLISE DA APLICAÇÃO DO TRATAMENTO DE EFLUENTES DE ÁGUAS RESIDUAIS POR LEITO DE MACRÓFITAS.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://cvcarlosjorgeferreira.files.wordpress.com/2012/04/fito-etar-final2.pdf>>. Acesso em: 21 out. 2019.

LAUTENSCHLAGER, S. R. **Modelagem do desempenho de wetlands construídas.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-11072002-091741/publico/dissertacaosrl.pdf>>. Acesso em: 2 nov. 2019.

LEAL, J. D. S. G. **WETLAND CONSTRUIDO PARA TRATAMENTO DE EFLUENTE SECUNDÁRIO EM CONDOMÍNIO EMPRESARIAL, UBERLÂNDIA-MG.** Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/product/identifier/CBO9781107415324A009/type/book_part>. Acesso em: 1 nov. 2019.

LIMA, R. F. DE S. **Potencialidades dos wetlands construídos empregados no pós tratamento de esgotos: experiências brasileiras.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <www.pos.ufsc.br/poscal>.

MACHADO, A. I. et al. **Overview of the state of the art of constructed wetlands for decentralized wastewater management in Brazil** *Journal of Environmental Management*. Academic Press, , 1 fev. 2017.

MANJATE, E. S.; ZUMALACARREGUI, J. A. G.; SPERLING, M. VON. **Estudo Do Comportamento Hidráulico E De Balanço De Massa Dos Sólidos Em Wetlands Construídos De escoamento Vertical Tratando Esgotos Domésticos.** 2015.

MOLLE, P. et al. How to treat raw sewage with constructed wetlands: An overview of

the French systems. **Water Science and Technology**, v. 51, n. 9, p. 11–21, 2005.

NUNES, A, S. Remoção de Nutrientes em Wetland Construído do tipo Francês, 2018, Trabalho de Conclusão de Curso, Engenharia Ambiental.

OLIJNYK, D. P. **Avaliação Da Nitrificação E Desnitrificação De Esgoto Doméstico Empregando Filtros Plantados Com Macrófitas (Wetlands) De Fluxos Vertical E Horizontal** – Sistemas Híbridos. p. 113, 2008.

RODRIGO FIDELIS DE SOUZA LIMA. **Potencialidades dos Wetlands Construídos Empregados no Pós- tratamento de Esgotos: Experiências Brasileiras**. [s.l: s.n.].

SANTOS, M. O. DOS et al. Influence of bottom saturation level of the bed media in vertical flow constructed wetlands applied to wastewater treatment. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica**, v. 9, n. 3, p. 303–316, 2016.

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: s.n.].

SEZERINO, P. H. et al. Experiências brasileiras com wetlands construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: Parâmetros de projeto para sistemas horizontais. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 151–158, 2015.

SILVEIRA, D.d. et al. Influence of partial saturation on total nitrogen removal in a single-stage French constructed wetland treating raw domestic wastewater. *Ecological Engineering*, [s.l.], v. 77, p.257-264, abr. 2015. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2015.01.040. Disponível em: <<http://api.elsevier.com/content/article/PII:S0925857415000634?httpAccept=text/xml>>. Acesso em: 26 fev. 2016.

VON SPERLING, M. SEZERINO, P. H. Dimensionamento De Wetlands Construídos No Brasil. Documento De Consenso Entre Pesquisadores E Praticantes. **Boletim Wetlands Brasil**, p. 65, 2018.

VON SPERLING, M. Princípios básicos do tratamento de esgotos - Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Belo Horizonte, UFMG. v.2. 1996

TREIN, CAMILA MARIA ZUMALACARREGUI GARCÍA, J. A.; SPERLING, M. VON. Comportamento diário ao longo do período de alimentação do primeiro estágio do sistema francês de wetland vertical, em termos de remoção de matéria orgânica e amônia. **Tecno-Lógica**, v. 22, n. 1, p. 6, 2018.

TREIN, C. M. et al. Tratamento descentralizado de esgotos de empreendimentos comercial e residencial empregando a ecotecnologia dos wetlands construídos. **Ambiente Construído**, v. 15, n. 4, p. 351–367, 2015.

VYMAZAL, Jan. The use of hybrid constructed wetlands for wastewater treatment with special attention to nitrogen removal: a review of a recent development. **Water Research**, [S.L.], v. 47, n. 14, p. 4795-4811, set. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2013.05.029>.

WATSON, D. P.; SMITH, R. R. **Ornamental Heliconias**. [s.l: s.n.].

WU, Shubiao; KUSCHK, Peter; BRIX, Hans; VYMAZAL, Jan; DONG, Renjie. Development of constructed wetlands in performance intensifications for wastewater treatment: a nitrogen and organic matter targeted review. **Water Research**, [S.L.], v. 57, p. 40-55, jun. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2014.03.020>.

ZINATO, T. M. C.; GUIMARÃES, M. M. Estudo sobre a utilização de “wetlands” construídas para tratamento de águas residuárias no Brasil. **VIII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, p. 1–9, 2017.

DQO ALTA			DQO - ALTA - RESULT		
Amostra	1	E	1	E	Diluição
04/abr	0,007	0,142	10,00	337,57	1
12/abr	0,086	0,192	206,00	461,62	2
22/abr	0,073	0,268	173,74	628,06	5
29/abr	0,120	0,272	290,35	660,10	
09/mai	0,196	0,346	478,91	843,69	
23/mai	0,349	0,376	858,50	918,12	
30/mai	0,403	0,402	992,48	982,63	
06/jun	0,205	0,275	501,24	667,54	
Média					
13/jun	0,188	0,386	459,06	942,93	
19/jun	0,299	0,378	734,45	923,08	
27/jun	0,163	0,251	397,04	607,99	
04/jul	0,122	0,321	295,31	781,67	
11/jul	0,363	0,305	893,24	741,97	
18/jul	0,150	0,348	364,78	848,65	
15/ago	0,230	0,318	563,26	774,22	
22/ago	0,241	0,305	590,55	741,97	
29/ago	0,270	0,291	662,50	707,24	
05/set	0,263	0,336	645,14	818,88	
Média					
12/set	0,303	0,186	744,38	424,62	
19/set	0,201	0,287	491,31	697,31	
26/set	0,149	0,219	362,30	506,50	
03/out	0,140	0,254	339,97	593,33	
10/out	0,201	0,307	491,31	746,93	
17/out	0,261	0,395	640,17	965,26	
24/out	0,258	0,372	632,73	908,20	
07/dez	0,247	0,362	605,44	883,39	
Média					

DQO BAIXA			DQO - BAIXA - RESULTADO	
Amostra	B	2	2	Diluição
04/abr	0,00	0,00	0,00	1
12/abr	0,00	0,00	0,00	1
22/abr	0,00	0,00	0,00	
29/abr	0,00	0,00	0,00	
09/mai	0,17	0,19	7,4259	
23/mai	0,20	0,14	26,366	
30/mai	0,20	0,19	7,4259	
06/jun	0,21	0,27	0,00	
Média				
13/jun	0,18	0,15	22,157	
19/jun	0,20	0,16	17,948	
27/jun	0,19	0,19	4,4796	
04/jul	0,20	0,17	15,002	
11/jul	0,22	0,20	2,3751	
18/jul	0,20	0,19	4,9005	
15/ago	0,21	0,10	43,202	
22/ago	0,21	0,18	8,2677	
29/ago	0,21	0,14	25,946	
05/set	0,21	0,13	30,575	
Média				
12/set	0,20	0,12	35,626	
19/set	0,20	0,16	19,211	
26/set	0,20	0,18	8,2677	
03/out	0,20	0,17	14,581	
10/out	0,23	0,16	20,053	
17/out	0,19	0,14	26,787	
24/out	0,19	0,16	18,79	
07/dez	0,19	0,14	26,787	
Média	0,20			

FOSFATO						
Amostra				Resultado		
	1	2	E	1	2	E
04/abr	0,417	0,366	0,334	03,72	00,64	05,72
12/abr	0,487	0,246	0,471	04,44	00,39	08,55
22/abr	0,494	0,163	0,500	04,51	00,22	09,15
29/abr	0,124	0,539	0,414	00,70	01,00	07,37
09/mai	0,331	0,022	0,378	02,83	00,00	06,63
23/mai	0,467	0,068	0,452	04,23	00,02	08,16
30/mai	0,684	0,109	0,642	06,47	00,11	12,08
06/jun	0,477	0,196	0,47	04,34	00,29	08,53
Média						
13/jun	0,926	0,137	0,884	8,967	00,17	17,07
19/jun	0,371	0,459	0,345	3,2432	00,83	05,95
27/jun	0,379	0,369	0,363	3,3257	00,64	06,32
04/jul	0,332	0,421	0,339	2,841	00,75	05,83
11/jul	0,383	0,421	0,413	3,367	00,75	07,35
18/jul	0,449	0,437	0,407	4,0476	00,78	07,23
15/ago	0,416	0,442	0,436	3,7073	00,80	07,83
22/ago	0,385	0,434	0,391	3,3876	00,78	06,90
29/ago	0,336	0,401	0,217	2,8822	00,71	03,31
05/set	0,515	0,531	0,555	4,7283	00,98	10,28
Média						
12/set	0,475	0,479	0,443	04,32	00,87	07,97
19/set	0,390	0,462	0,376	03,44	00,84	06,59
26/set	0,352	0,403	0,288	03,05	00,71	04,77
03/out	0,397	0,486	0,466	03,51	00,89	08,45
10/out	0,385	0,588	0,372	03,39	01,10	06,51
17/out	0,402	0,460	0,334	03,56	00,83	05,72
24/out	0,396	0,453	0,348	03,50	00,82	06,01
07/dez	0,126	0,314	0,136	00,72	00,53	01,64
Média						

Nitrato (NO ₃)										
Amostra	1		2		E		RESULTADO			
Absorbância	220	275	220	275	220	275	1	2	E	Diluição
04/abr	0,694	0,201	0,530	0,237	0,477	0,095	0,175	0,027	0,172	1
12/abr	0,555	0,186	0,410	0,184	0,755	0,121	0,119	0,023	0,289	2
22/abr	0,553	0,217	0,438	0,153	1,299	0,296	0,086	0,046	0,389	
29/abr	0,628	0,194	0,334	0,154	0,843	0,161	0,148	0,019	0,293	
09/mai	0,421	0,13	0,385	0,165	1,894	0,299	0,107	0,026	0,692	
23/mai	0	0	0	0	0	0	0,024	0,012	0,024	
30/mai	0,591	0,167	0,276	0,124	1,272	0,440	0,157	0,019	0,226	
06/jun	0	0	0	0	0	0	0,024	0,012	0,024	
Média										
13/jun	0,642	0,178	1,251	0,108	1,727	0,349	0,172	0,279	0,555	
19/jun	0	0	0	0	0	0	0,024	0,012	0,024	
27/jun	0,758	0,232	2,804	0,146	1,02	0,298	0,176	0,660	0,243	
04/jul	0,430	0,120	2,924	0,103	1,244	0,344	0,122	0,713	0,311	
11/jul	0,846	0,167	3,394	0,130	1,516	0,336	0,288	0,820	0,459	
18/jul	0,842	0,186	3,361	0,129	1,495	0,578	0,267	0,812	0,199	
15/ago	0,834	0,224	3,273	0,297	1,612	0,252	0,223	0,703	0,595	
22/ago	1,043	0,33	3,249	0,224	1,512	0,481	0,222	0,734	0,308	
29/ago	1,362	0,376	3,262	0,175	1,369	0,245	0,339	0,763	0,477	
05/set	1,061	0,284	3,26	0,172	2,308	0,340	0,278	0,764	0,864	
Média										
12/set	0,993	0,189	3,224	0,207	1,288	0,426	0,341	0,737	0,249	
19/set	0,729	0,215	1,122	0,492	0,851	0,218	0,178	0,048	0,238	
26/set	0,802	0,192	2,236	0,327	1,121	0,303	0,240	0,420	0,290	
03/out	0,690	0,171	3,086	0,163	2,195	0,298	0,204	0,724	0,849	

NTK							
Amostra					RESULTADOS		
	1	2	E	B	1	2	E
04/abr	7,50	1,40	8,30	0,60	38,64	02,24	43,12
12/abr	4,80	0,90	10,80	0,60	23,52	00,84	57,12
22/abr	6,00	0,70	24,95	0,60	30,24	00,28	136,36
29/abr	4,90	0,60	0,00	0,40	25,20	00,56	-02,24
09/mai	6,10	1,10	22,4	0,40	31,92	01,96	123,20
23/mai	4,58	0,22	0,00	0,24	24,30	00,00	-01,34
30/mai	11,4	2,70	19,8	0,24	62,50	06,89	109,54
06/jun	4,60	0,90	8,60	0,24	24,42	01,85	46,82
Média							
13/jun	8,81	1,04	23,51	0,24	47,99	02,24	130,31
19/jun	9,17	2,05	15,24	0,24	50,01	05,07	84,00
27/jun	0,99	1,21	9,91	0,41	03,25	02,24	53,20
04/jul	7,09	20,56	16,87	0,41	37,41	56,42	92,18
11/jul	11,82	1,30	18,85	0,41	63,90	02,49	103,26
18/jul	9,38	1,24	15,03	0,41	50,23	02,32	81,87
15/ago	11,24	13,77	18,80	0,41	60,65	37,41	102,98
22/ago	11,87	7,32	13,70	0,66	62,78	18,65	73,02
29/ago	12,75	1,62	17,73	0,66	67,70	02,69	95,59
05/set	9,93	1,09	22,51	0,66	51,91	01,20	122,36
Média							
12/set	10,14	1,09	13,48	0,09	56,28	02,80	74,98
19/set	7,76	3,31	14,23	0,09	42,95	09,02	79,18
26/set	7,20	0,77	16,34	0,81	35,78	00,00	86,97
03/out	8,01	0,88	28,31	0,81	40,32	00,20	154,00
10/out	6,69	1,46	8,14	0,77	33,15	01,93	41,27
17/out	11,75	16,86	11,84	0,77	61,49	45,05	61,99
24/out	9,02	0,94	12,61	0,77	46,20	00,48	66,30
07/dez	8,78	0,91	10,83	0,83	44,52	00,22	56,00
Média							

N-NH ₃							
					RESULTADOS		
Amostra	1	2	E	B	1	2	E
04/abr	3,40	0,40	2,30	0,30	08,68	00,28	05,60
12/abr	4,40	0,40	1,20	0,30	11,48	00,28	02,52
22/abr	8,97	0,40	0,00	0,30	24,28	00,28	00,00
29/abr	4,60	1,10	11,20	0,20	12,32	02,52	30,80
09/mai	3,90	0,10	0,30	0,20	10,36	00,00	00,28
23/mai	11,59	2,38	72,54	0,23	31,81	06,02	00,00
30/mai	8,10	0,30	0,00	0,23	22,04	00,20	00,00
06/jun	6,50	0,50	1,70	0,23	17,56	00,76	04,12
Média							
13/jun	10,14	0,28	0,14	0,23	27,75	00,14	00,00
19/jun	8,48	1,18	5,09	0,23	23,10	02,66	13,61
27/jun	9,55	0,51	4,62	0,24	26,07	00,76	12,26
04/jul	6,2	0,4	5,34	0,24	16,69	00,45	14,28
11/jul	9,1	0,52	5,16	0,24	24,81	00,78	13,78
18/jul	12,85	0,41	8,95	0,24	35,31	00,48	24,39
15/ago	11,44	2,52	0,28	0,24	31,36	06,38	00,11
22/ago	12,85	1,75	2,88	0,30	35,14	04,06	07,22
29/ago	12,73	1,26	3,25	0,30	34,80	02,69	08,26
05/set	9,84	0,30	0,12	0,30	26,71	00,00	00,00
Média							
12/set	12,85	0,63	0,00	0,22	35,36	01,15	00,00
19/set	8,93	0,99	0,00	0,22	24,39	02,16	00,00
26/set	8,34	0,31	0,00	0,22	22,74	00,25	00,00
03/out	8,92	0,39	0,58	0,22	24,36	00,48	01,01
10/out	8,53	0,66	0,18	0,08	23,66	01,62	00,28
17/out	11,40	0,80	1,98	0,08	31,70	02,02	05,32
24/out	10,17	0,83	1,31	0,08	28,25	02,10	03,44
07/dez	9,23	0,82	1,01	0,36	24,84	01,29	01,82
Média							

NT			
Amostra	I	II	E
04/abr	38,81	2,27	43,29
12/abr	23,64	0,86	57,41
22/abr	30,33	0,33	136,75
29/abr	25,35	0,58	-1,95
09/mai	32,03	1,99	123,89
23/mai	24,33	0,01	-1,32
30/mai	62,65	6,91	109,76
06/jun	24,44	1,86	46,84
Média			
13/jun	48,16	2,52	130,87
19/jun	50,03	5,08	84,02
27/jun	3,42	2,90	53,44
04/jul	37,53	57,13	92,49
11/jul	64,18	3,31	103,72
18/jul	50,50	3,14	82,07
15/ago	60,87	38,11	103,58
22/ago	63,00	19,38	73,33
29/ago	68,04	3,45	96,07
05/set	52,19	1,97	123,22
Média			
12/set	56,62	3,54	75,23
19/set	43,13	9,06	79,42
26/set	36,02	0,42	87,26
03/out	40,52	0,92	154,85
10/out	33,34	2,62	41,44
17/out	61,80	45,73	62,28
24/out	46,42	1,21	67,14
07/dez	44,65	0,72	56,32
Média			