

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

JONAR JOHANNES ROTH

**IMPLANTAÇÃO E AVALIAÇÃO DE SISTEMA DE FITOTRATAMENTO
VISANDO REÚSO**

CAMPO MOURÃO

2017

JONAR JOHANNES ROTH

IMPLANTAÇÃO E AVALIAÇÃO DE SISTEMA DE FITOTRATAMENTO VISANDO REÚSO

Projeto de pesquisa apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 (TCC 2), do curso de Engenharia Ambiental, do Departamento Acadêmico de Ambiental (DAAMB), do Câmpus Campo Mourão, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Débora Cristina de Souza

Co-orientadora: Profa. Dra. Sônia Barbosa de Lima

CAMPO MOURÃO

2017

AGRADECIMENTOS

Não tenho dúvidas de que sozinho nada alcançaria. Agradeço primeiramente à Deus, pois, sem sua presença em minha vida nada faria sentido. Para chegar ao término do meu Trabalho de Conclusão de Curso muito abduquei e muitas barreiras superei. Nessa trajetória pude contar com o apoio de muitas pessoas queridas, e meus agradecimentos são dedicados a vocês:

A minha mãe, Rosana, meu pai, Ervino, meu irmão, Evilázio, e a minha tia, Elza, que sempre me instruíram e me incentivaram aos estudos.

A Débora, minha professora orientadora, que sempre me apoiou e instruiu na elaboração deste trabalho.

A professora Sônia, minha co-orientadora, e ao Paulo e a Karina, integrantes da banca de avaliação deste trabalho.

Aos amigos que conheci na graduação e compartilhei muitos momentos durante esse período: Grenda, Tatiane, Sérgio, Maryah, Bruna, Maria Clara, Igor, Marcos, Adriana, entre outros.

Aos alunos integrantes de projetos junto a minha professora orientadora, que me auxiliaram em práticas laboratoriais.

Aos meus amigos do Espaço Sou Arte, que contribuíram para que parte do meu período de graduação fosse repleto de muita alegria, aprendizado e união.

Ao meu amigo Leonardo, quem pude contar nos momentos bons e ruins, que sempre me incentivou a ser uma pessoa melhor.

Aos meus amigos Everton e Jean.

Ao meu padrasto, Silvio, que me incentivou e auxiliou durante o desenvolvimento da parte prática do meu projeto.

Ao pastor Diego da igreja Calvary Campo, com quem pude aprender preciosos ensinamentos.

RESUMO

ROTH, J. J. IMPLANTAÇÃO E AVALIAÇÃO DE SISTEMA DE FITOTRATAMENTO VISANDO REUSO. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2017.

Neste trabalho foi realizada avaliação temporal de um sistema de *wetland* construído (SWC) em regime de batelada alimentada em período de 48 h, sendo os intervalos de análises de 0h, 12h, 24h, 36h e 48h. O sistema foi montado em tanque com volume de 500L, onde foi instalada tubulação de drenagem em sua base. O substrato filtrante foi composto por uma camada de areia de 19 cm, e sobre esta, camada de brita nº 4 de 23 cm, onde foram plantadas as macrófitas aquáticas *Pontederia parviflora* Alexander, resultando em um volume útil de 120L. Os parâmetros avaliados foram: temperatura, turbidez, pH, condutividade, sólidos totais (ST), Nitrogênio total (NTK), N-amoniaco, nitrato, nitrito, DQO, fósforo total, alcalinidade, ácidos voláteis e coliformes totais e termotolerantes. Das análises do esgoto alguns valores médios para os parâmetros e respectivos valores de eficiência após 48h de batelada alimentada foram de 785,33 mg ST/L (32,60%), 60,11 mg N-NTK/L (68,94%), 18,76 mg N-amoniaco/L (62,69%), 0,04 mg NO₂/L (89,33%), 0,30 NO₃/L (100%), 289,97 mg O₂/L (70,62%), 6,62 mg PO₄²⁻/L (96,45%). O substrato filtrante contribuiu para redução dos sólidos totais no afluente do SWC, no entanto, ocorreu variações relacionadas a incidência solar, onde o processo de decomposição por bactérias aeróbias se intensificou, aumentando a concentração de compostos no meio. Com o decorrer do tempo, observou-se aumento na eficiência do tratamento para turbidez, DQO, nitrogênio total, N-amoniaco, Nitrato, Nitrito, associados à formação e atuação do biofilme bacteriano. A alta eficiência na remoção de fósforo está associada a ação filtradora do substrato, sedimentação e adsorção ou assimilação pelas plantas, e sua taxa de variação está associada a degradação microbiológica da biomassa das macrófitas, fazendo com que os nutrientes retornassem para o meio. A total eliminação de nitrato em de P1-48h pode estar associado as condições ideais de pH e alcalinidade do meio para o processo de nitrificação. Quanto a eficiência do SWC na remoção de coliformes termotolerantes, os valores estiveram abaixo de 0,87x10³ NMP/100 mL em 24h de tratamento. No entanto, esses valores voltaram a subir após ocorrência de chuva quase ao término do período do experimento. A eficiência de tratamento obtida em 24h pode ser enquadrada na Classe 4 de reúso da ABNT-NBR 13.969/97.

Palavras-chave: Esgoto sanitário, sistema de *Wetland* construído, *Pontederia parviflora*.

ABSTRACT

ROTH, J. J. IMPLANTATION AND EVALUATION OF PHYTOTRATAMENT SYSTEM VISING REUSE. Course Conclusion Work - Environmental Engineering Course, Federal Technological University of Paraná. Campo Mourão, 2017.

In this work was carried out a temporal evaluation of a constructed wetland system (CWS) in a fed batch system in a period of 48 h, being the analysis intervals of 0h, 12h, 24h, 36h and 48h. The system was assembled in a tank with a volume of 500L, where a drainage pipe was installed in its base. The filter substrate was composed of a layer of sand of 19 cm, and on this, layer of gravel n°4 of 23 cm, where the aquatic macrophytes *Pontederia parviflora* Alexander were planted, resulting in a useful volume of 120L. The parameters evaluated were: temperature, turbidity, pH, conductivity, total solids (TS), total nitrogen (NTK), N-ammoniacal, nitrate, nitrite, chemical oxygen demand (COD), total phosphorus, alkalinity, volatile acids and total and thermotolerant coliforms. From the domestic sewage analysis, some average values for the parameters and their respective efficiency values after 48 h of batch fed were of: 785.33 mg TS/L (32.60%), 60.11 mg N-NTK/L (68,94%), 18,76 mg N-ammoniacal/L (62.69%), 0.30 NO₃/L (100%), 0.04 mg NO₂/L (89.33%), 6.62 mg PO₄²⁻/L (96.45%), 289.97 mg O₂/L (70.62%). The filter substrate contributed to the reduction of the total solids in the affluent of the CWS, however, occurred variations related to solar incidence, where the decomposition process by aerobic bacteria intensified, increasing the concentration of compounds in the medium. Over time, was observed the increase of efficiency of the treatment for turbidity, COD, total nitrogen, N-ammoniacal, Nitrate, Nitrite, associated with the formation and performance of the bacterial biofilm. The high efficiency of phosphorus removal is associated with the filtering action of the substrate, sedimentation and adsorption or assimilation by plants, and its rate of variation is associated with the microbiological degradation of the macrophytes biomass, causing the nutrients to return to the environment. The total elimination of nitrate in P1-48h may be associated with the ideal pH and alkalinity conditions of the medium for the nitrification process. Regarding the efficiency of the BWS in the removal of thermotolerant coliforms, the values were below 0.87x10³ NMP/100 mL in 24h of treatment. However, these concentrations rose again after rainfall almost at the end of the experiment period. The treatment efficiency obtained in 24h can be classified in Class 4 of reuse of ABNT-NBR 13.969/97.

Key words: Built wetland system, *Pontederia parviflora*, sanitary sewage.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Mapa de localização da UTFPR – CM e localização do local de implantação da estação em vermelho	22
Figura 2 - Local de instalação do experimento.....	24
Figura 3 - Estrutura de apoio para os tanques do sistema.....	25
Figura 4 - Tubulação de saída do <i>Wetland</i> para o reservatório	25
Figura 5 - Tubulação de saída do SWC por meio de túneo para sustentação do tanque	26
Figura 6 - Tubulação de drenagem após perfuração com vergalhão aquecido.....	27
Figura 7 - Tubulação de drenagem recoberta com sombrite 50 %.	27
Figura 8 - Tubulação de drenagem instalada no fundo do tanque.	28
Figura 9 - Fundo do tanque após inserção de camada de 19 cm de areia.	28
Figura 10 - Tanque após inserção de camada de pedra brita nº 4.	29
Figura 11 - Suporte de tijólos para tanque de armazenamento inicial.	30
Figura 12 – Série temporal da variação de temperatura em TDH de 48H.	34
Figura 13 - Séries temporais das concentrações de: A) Sólidos totais (ST); B) sólidos totais voláteis (SVT); C) Sólidos fíxos (SFT); D) Condutividade e E) Turbidez.	36
Figura 14 - Séries temporais das concentrações de: A) alcalinidade; B) Ácidos voláteis e C) pH.	38
Figura 15 - Série temporal da concentração de DQO.....	39
Figura 16 - Série temporal da concentração de fósforo total.	40
Figura 17 - Séries temporais das concentrações de: A) N-Total; B) N-Amoniacal; C) Nitrato e D) Nitrito	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Padrões de águas de classe 2 segundo Resolução do CONAMA N° 357/2005	14
Tabela 2 - Papel dos microrganismos no tratamento de efluentes em SWC	18
Tabela 3 – Ocasões de maior geração de esgotos.....	30
Tabela 4 - Caracterização do esgoto doméstico.	35
Tabela 5 - Resultados das análises de coliformes totais e termotolerant (NMP/100 mL).....	42

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 OBJETIVOS	12
2.1 Objetivo geral	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
3.1 Esgotos doméstico	13
3.2 Padrões de qualidade	13
3.3 Fitorremediação/Sistemas <i>wetlands</i> construídos	14
3.3.1 <i>Macrófita aquática Pontederia Parviflora Alexander</i>	16
3.4 Parâmetros de análises	16
3.4.1 <i>Série de sólidos</i>	16
3.4.2 <i>Microrganismos do grupo coliforme</i>	17
3.4.3 <i>Condutividade</i>	18
3.4.4 <i>Alcalinidade</i>	19
3.4.5 <i>Demanda Química de Oxigênio (DQO)</i>	19
3.4.6 <i>Fósforo</i>	20
3.4.7 <i>Nitrogênio</i>	20
4 MATERIAL E MÉTODOS	22
4.1 LOCALIZAÇÃO	22
4.2 Montagem do <i>Wetland</i> construído	23
4.2.3 <i>Implantação do sistema</i>	23
4.3 Monitoramento	30
4.3.1 <i>Coleta e armazenamento de esgotos domésticos</i>	30
4.3.2 <i>Parâmetros e metodologias de análises</i>	31
4.4 Padrões para reúso	32
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5.1 Temperatura das amostras	34
5.2 Caracterização do esgoto bruto	34
5.3 Alteração temporal dos parâmetros físicos	35
5.4 Alteração temporal dos parâmetros Químicos	37
5.5 Alteração temporal do parâmetro biológico	42
5.6 Alternativas de reúso	43

6 CONCLUSÃO	45
REFERÊNCIAS.....	46

1 INTRODUÇÃO

A qualidade e disponibilidade de água é assunto de interesse mundial, pois cerca de 633 milhões de pessoas ainda não possuem acesso a água potável e cerca de 1,2 bilhão a utilizam proveniente de fontes com riscos sanitários. Estima-se que até o ano de 2050 cerca de 40% da população mundial estará concentrada em áreas de baixo acesso a esse recurso natural. Quadro esperado diante da situação atual, onde também, mais de 80% da água utilizada no mundo não é armazenada ou reutilizada (BAIN et al., 2014; WHO/UNICEF, 2015; WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2017).

O déficit de recursos hídricos vem crescendo em todo o mundo juntamente com seu alto custo de obtenção. Os aspectos políticos associados à reversão de bacias, ou seja, a captação de água em locais que apresentem maior abundância em períodos de estiagem, causam oposições por parte das populações cedentes. Condições estas que apontam para a necessidade da reformulação do sistema de abastecimento público de água potável no país (QUEIROZ, 2015).

O reúso planejado de águas residuárias ocorre quando, ela sendo tratada ou não, é reutilizada para o mesmo fim de seu último uso ou para fins menos nobres, como lavagem de calçadas, irrigação de algumas culturas, descargas de banheiros, entre outros. Desta forma, havendo a redução da demanda sobre mananciais de águas brutas, pela reutilização de águas com qualidade inferior. Sendo então aplicada, considerando os parâmetros requeridos aos diversos tipos de consumo (CROOK, 1993).

Em países como Estados Unidos, Austrália, Reino Unido, Holanda, Bélgica, Arábia Saudita, Singapura e Namíbia já utilizam águas provenientes de estações de tratamento de esgotos (ETE's) para fins não potáveis, como na agricultura, na indústria e alguns usos no meio urbano, sendo considerada prática comum (QUEIROZ, 2015).

No Brasil, 58% dos municípios possuem coleta de esgotos, dos quais, apenas 42,7 % possuem ETE's. Ou seja, no país, 57,3% de esgotos são captados e seu potencial de reúso é desperdiçado. Esse valor aumenta se considerado o percentual destinado a fossas sépticas ou fossas negras (sumidouros) (Brasil, 2017).

Em locais com pouca disponibilidade de recursos hídricos faz-se necessário o uso de alternativas viáveis para a realidade da região, como a exploração de águas

subterrâneas, reaproveitamento das águas pluviais e de esgotos, entre outras fontes precárias possivelmente contaminadas.

O uso de tecnologias convencionais de tratamento de esgoto sanitário torna o processo muitas vezes inviável. Logo, a pesquisa por tecnologias alternativas que garantam a qualidade do efluente tratado à critérios específicos de reutilização e com baixo custo são indispensáveis (LAMEGO; VIDAL, 2007). Diante disto, uma alternativa são os sistemas *wetlands* construídos (SWCs), que são sistemas de tratamento que buscam simular processos que ocorrem naturalmente em áreas alagadas naturais, por meio de um ambiente controlado. Esse ambiente é gerado pela interação entre o substrato, vegetação e microrganismos associados para promover o tratamento de águas contaminadas (SARAFRAZ et al., 2009).

Sendo assim, objetivou-se implementar um sistemas de *wetland* construídos (SWC) para tratamento de esgoto doméstico visando reutilização em irrigação de plantas, quando possível, na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Campo Mourão.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Implementar um sistema de *wetland* construído (SWC) para tratamento de esgotos sanitários de origem doméstica visando reutilizações aplicáveis à Classe 4 da ABNT – NBR 13.969/97.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Montar um sistema de *wetland* construído para tratamento de esgotos sanitários de origem doméstica produzidos na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Campo Mourão.
- Caracterizar os esgotos sanitários coletados por meio de análises físico-químicas e microbiológicas;
- Monitorar a eficiência do arranjo do SWC em intervalos de 12 h durante 48 h;
- Analisar os processos físicos, químicos e biológicos decorrentes da interação entre os componentes do sistema com o esgoto sanitário;
- Determinar possíveis formas de reuso do efluente tratado de acordo com parâmetros estabelecidos na legislação vigente.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Esgotos doméstico

Esgoto sanitário de origem doméstica é definido como “despejo líquido resultante do uso de água destinada à higiene e necessidades fisiológicas humanas” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA..., 1986). Esses efluentes se caracterizam por serem constituídos por aproximadamente 99,9% de água, onde a fração restante, 0,01%, inclui sólidos orgânicos e inorgânicos, os chamados nutrientes, encontrados em suspensão e dissolvidos, além de microrganismos patógenos ou não, variando de acordo com o uso ao qual a água foi submetida (SPERLING, 2005).

Os potenciais riscos gerados ao ambiente e à saúde pública devido suas características fazem necessário a utilização de padrões de reúso. O que por um lado gera problemas, por outro agrega valor em sua reutilização, uma vez que beneficiam atividades como a irrigação e piscicultura, pois possuem insumos indispensáveis onde os principais nutrientes de interesse são o nitrogênio e o fósforo, encontrados em diferentes formas e concentrações no meio aquático.

Entre os problemas relacionados ao lançamento de esgoto bruto ou tratado em corpos hídricos destaca-se, em maior ou menor grau, a eutrofização, capaz de promover condições anaeróbias no corpo hídrico e levando a morte de peixes, encarecimento do seu processo de tratamento e toxicidade, ambos causados pela presença de algas. A amônia presente pode causar toxicidade aos peixes e promover o consumo de oxigênio dissolvido, e o nitrato pode causar problemas de saúde pública, como a metahemoglobinemia (MOTA; SPERLING, 2009).

3.2 Padrões de qualidade

Na visão da Engenharia Ambiental, a determinação da qualidade da água envolve vários fatores e é fundamental para estimar as consequências de uma atividade poluidora ou os meios para que se faça seu determinado uso. Geralmente, para projeção de uma estação de tratamento de esgotos não ocorre a determinação dos diversos compostos que a constituem. E sim a utilização de parâmetros indiretos que contribuam para identificação do potencial poluidor dessa água residuária, como parâmetros físicos (Temperatura, cor, odor e turbidez), químicos (Sólidos totais,

matéria orgânica, nitrogênio total, fósforo total, pH, alcalinidade, cloretos e óleos e graxas) e biológicos (Bactérias, algas, fungos protozoários, vírus e helmintos). Os principais parâmetros a serem analisados quando se trata de esgotos domésticos são os sólidos totais, indicadores de matéria orgânica, nitrogênio total, fósforo total e indicadores de contaminação fecal (SPERLING, 2005).

A escolha da melhor alternativa de reuso do efluente tratado deve considerar os padrões exigidos na legislação vigente, as características do sistema de tratamento adotado, as necessidades nutricionais do uso pretendido, requisitos ambientais, a saúde pública e aspectos sociais e econômicos (MOTA, SPERLING, 2009).

Segundo a Resolução do CONAMA Nº 357/2005 as águas a serem utilizadas na irrigação de hortaliças que serão consumidas cruas e que se desenvolvem rentes ao solo, devem atender aos padrões estabelecidos para águas Classe 2 (Tabela 1).

Tabela 1 - Padrões de águas de classe 2 segundo Resolução do CONAMA Nº 357/2005

Variável ambiental	Limites
Coliformes termotolerantes	≥ 1.000 NMP/100 ml
Cor verdadeira	≥ 75 mg Pt/L
Turbidez	≥ 100 UNT
DBO 5 dias a 20°C	≥ 5 mg/L O ₂
OD	≤ 5 mg/L O ₂
Clorofila a	≥ 30 µg/L
Densidade de cianobactérias	≥ 50000 cel/mL ou 5 mm ³ /L
Fósforo total	≥ 0,050 mg/L

Fonte: Adaptado da Resolução do CONAMA Nº 357/2005.

3.3 Fitorremediação/Sistemas *wetlands* construídos

Fitorremediação (fito= planta, remediação= correção, dar remédio) termo amplamente utilizado desde 1991 para definir uma tecnologia vegetal baseada em plantas capazes de promover limpeza de locais contaminados. Sendo derivado de diversas áreas de pesquisas incluindo sistemas de *wetlands* construídos (SWCs), áreas com derrame de petróleo e áreas com acúmulo de metais pesados em plantas agrícolas (OPPELT, 2000).

Usualmente o SWC é composto por macrófitas aquáticas, substrato (meio filtrante) e biofilmes de bactérias, sendo este relacionado ao mecanismo de remoção de poluentes. As macrófitas possuem função de retenção de determinados constituintes do efluente inserido no sistema. Além disso, são capazes de transferir

oxigênio do ar atmosférico para o substrato através de interações de naturezas químicas, físicas e biológicas, promovendo um ambiente aeróbio, influenciando no ciclo do Nitrogênio e eliminação de certos microrganismos. Sua folhagem promove sombra que inibe o crescimento de algas sobre a superfície, e seus rizomas, raízes e serapilheira servem de suporte para o desenvolvimento do biofilme bacteriano (PROSAB, 1999; BRIX, 1994).

Estes sistemas também são conhecidos como terras úmidas artificiais, terras úmidas construídas, jardins filtrantes, zona de raízes, leito de raízes, áreas alagadas construídas, leitos cultivados com macrófitas, fito-estações de tratamento de águas residuárias (fito-ETARs) (MELLO, 2016).

Os SWC possuem ampla variação de modelos e tamanhos, sendo sistemas adaptáveis para as mais diversas necessidades e condições de implantação do projeto. Os modelos mais difundidos de SWC são divididos em dois grupos, os sistemas de escoamento superficial, ou lâmina livre, e os sistemas de escoamento subsuperficial, que são subdivididos em verticais e horizontais (SEZERINO et al., 2015).

Não existem modelos padronizados para sua construção, podendo este ser instalado no solo, por meio da abertura de trincheiras, em tanques de alvenaria ou de fibra, sendo preenchidos com certo volume de material que sirva como substrato para fixação das raízes. E se necessário ainda, a utilização de substrato de granulometria mais fina, com função de filtro físico. A disposição de seus elementos se dá de tal forma que proporcione o surgimento de funções de interesse, onde os principais objetivos são: a degradação de matéria orgânica; a retenção de nutrientes; eliminação de microrganismos prepuais à saúde. A escolha da macrófita aquática a ser utilizada deve levar em consideração o uso de espécies locais, exceto exóticas, e sua taxa de sobrevivência em períodos prolongados de permanência em substrato saturado. Entre suas funções destacam-se a capacidade de incorporação de nutrientes, entre outros compostos existentes na água residuária, oxigenação do substrato, dificultar o desenvolvimento de algas, devido a sombra gerada por suas folhas, e a função de suporte que os rizomas, raízes e serrapilheiras, juntamente com o substrato, desempenham no crescimento do biofilme bacteriano (MARQUES, 1999).

3.3.1 Macrófita aquática *Pontederia Parviflora* Alexander

Tanaka et al. (2015) avaliaram o crescimento e desenvolvimento de algumas espécies de macrófitas aquáticas na mesma região fitogeográfica da montagem do presente experimento. Após o plantio, as macrófitas passaram por algumas semanas no sistema em contato com os esgotos, proporcionando sua adaptação. A espécie que melhor se desenvolveu foi *P. parviflora* que sobreviveu e se reproduziu bem neste período, havendo formação de brotos.

Trabalhos comprovaram que existe influencia entre a presença de macrófitas aquáticas nos SWC's e a remoção de parâmetros como DBO, DQO, nitrogênio e fósforo (PHILIPPI; SEZERINO, 2004; LAMEGO, 2007; PELISSARI, 2013).

Microrganismos como bactérias, fungos e protozoários que se desenvolvem no sistema possuem funções importantes no tratamento dos esgotos (LOHMANN, 2011). As bactérias em especial, desempenham função de oxidação da matéria carbonácea, atuando também na nitrificação e desnitrificação (PHILIPPI, SEZERINO, 2004). Após certo período de contato dos esgotos com o substrato do sistema, microrganismos com o metabolismo mais adaptado ao meio se multiplicam aderidos às zonas de raízes das macrófitas, dando origem ao biofilme (PELISSARI, 2013).

3.4 Parâmetros de análises

3.4.1 Série de sólidos

Com exceção de gases dissolvidos, os contaminantes hídricos contribuem para composição de sólidos presentes na água e podem ser classificados de acordo com seu tamanho e estado (Sólidos em suspensão e sólidos dissolvidos), as suas características químicas (sólidos voláteis e sólidos fixos) e sua sedimentabilidade (sólidos em suspensão sedimentáveis e não sedimentáveis) (SPERLING, 2005).

Segundo a NBR 10664 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA..., 1989) estes sólidos podem ser classificados da seguinte forma:

- Sólidos totais (ST): resíduo remanescente na cápsula de porcelana após a evaporação da amostra e secagem em estufa até que se atinja massa constante.

- Sólidos dissolvidos (SD): fração do resíduo total que passa por filtro de porosidade 1,2 μm .
- Sólidos suspenso (SS): fração do resíduo total que é retida no filtro de porosidade 1,2 μm .
- Sólidos fixos (SF): fração do resíduo total, filtrável ou não, que sobra após a calcinação em mufla a 550 °C por 1 hora.
- Sólidos voláteis (SV): fração do resíduo total, filtrável ou não, que evapora durante a calcinação da amostra à 550 °C por 1h.

No SWC a remoção de sólidos ocorre tanto pelo mecanismo físico de filtração, proporcionado pela camada de areia, quando pela degradação e adsorção da matéria orgânica promovida por microrganismos e macrófitas.

3.4.2 *Microrganismos do grupo coliforme*

Dentre diversos organismos cuja sua presença em água é indicadora de contaminação, adota-se os organismos do grupo coliforme como bioindicadores. O *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (1998) define o grupo do coliforme como “todas as bactérias aeróbias ou anaeróbias facultativas, Gram-negativas, não esporuladas e na forma de bastonete”. As bactérias desse grupo caracterizam-se pela presença da enzima β galactosidase e pela capacidade de fermentar lactose, com produção de gás no prazo de 48 horas a 35°C. Esses coliformes se encontram presentes em abundancia no intestino de animais endotérmicos, como o homem, sendo um parâmetro de simples determinação e que podem indicar a presença de patógenos entéricos (MURRAY, et al., 2014; RIBEIRO, 2002).

Os coliformes termotolerantes, ou fecais, cuja principal representante é *Escherichia coli*, são bactérias Gram-negativas cuja parede celular se caracteriza por ser formada apenas por uma fina camada de lipoproteínas, fosfolipídios, proteínas e de lipopolissacarídios (LPS). Os LPS dessas bactérias apresentam uma fração de lipídio “A”, endotoxina liberada durante a inflamação e capaz de ativar o sistema imunológico causando, em baixas concentrações, febre, vasodilatação e ativação de

resposta imune e inflamatória. Em concentrações maiores, pode causar extravasamento capilar, choque e possível morte (MURRAY et al., 2014).

O monitoramento de concentrações desse parâmetro biológico é fundamental para a avaliação de impactos ambientais em ambientes aquáticos e classificação e enquadramento de rios e córregos em classes e padrões de potabilidade e balneabilidade humana (LEBARON et al., 2005). Sendo que, para a água ser enquadrada como apropriada para consumo humano não deve apresentar vestígios de *E. coli* após seu tratamento (CONAMA, 2005).

Na Tabela 2 são apresentados microrganismos existentes em SWC e algumas de suas respectivas funções.

Tabela 2 - Papel dos microrganismos no tratamento de efluentes em SWC	
Microrganismos	Função
Bactérias/Arquéias	Digestão da matéria carbonácea
	Nitrificação e desnitrificação
Protozoários	Clarificação do efluente
	Degradação da matéria orgânica;
	Produção de polissacarídeos, contribuindo na floculação do material suspenso
	Mantêm o equilíbrio ecológico do sistema
	Redução da produção do lodo através da ingestão de bactérias floculadas
	Indicação da qualidade do efluente final
Micrometazóarios	Contribuem para manutenção da população de bactérias saudáveis
	Diminuem a turbidez do efluente
	Atuam na recirculação de nutrientes
	Aumentam a penetração do oxigênio
	Contribuem na biofloculação
	Auxiliam na redução de DBO
Favorecem o balanço ecológico do sistema	

Fonte: Adaptado de Philippi e Sezerino (2004).

3.4.3 Condutividade

A condutividade é um parâmetro que pode ser utilizado como ferramenta na avaliação de efluentes, podendo estar relacionado com seu grau de toxicidade. Pois, elevados valores de condutividade possuem a capacidade de interferir no transporte entre compostos químicos presentes no meio com o interior de células microbianas, alterando seu metabolismo, interferindo na eficiência do tratamento biológico (Dan et al., 2003).

3.4.4 Alcalinidade

Alcalinidade, é a capacidade de uma solução em neutralizar ácidos. Ela está relacionada a química de ácido-base que ocorre no sistema de águas, onde seus principais componentes são os sais do ácido carbônico (bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos) que são resultados da interação entre o íon carbonato (CO_3^{2-}), considerada uma base moderadamente forte, com um ácido mais fraco, o ácido carbônico (H_2CO_3). A presença do ácido carbônico pode ser resultante da dissolução do gás dióxido de carbono (CO_2) em água, a partir da difusão do gás presente na atmosfera ou pela decomposição da matéria orgânica em água. E a presença de bases fortes provenientes de descargas de efluentes é a principal fonte de alcalinidade por hidróxidos. Rochas calcárias, como a brita, são fontes predominantes dos íons carbonatos, sendo compostas praticamente por carbonato de cálcio (CaCO_3), onde mesmo sendo insolúvel, uma pequena quantidade deste sal se dissolve quando em contato com água e passa a agir como uma base, fazendo com que o pH da solução se aproxime da neutralidade. A forma dominante de CO_2 -carbonato pode ser descoberta a partir do diagrama de espécies para o sistema CO_2 -bicarbonato-carbonato em água naturais, onde a fração de carbono inorgânico total é mostrada em função do pH (BAIRD; CANN, 2011).

3.4.5 Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e a Demanda Química de Oxigênio (DQO) são parâmetros que podem ser utilizados para quantificar a matéria carbonácea presente em um efluente.

Todos os sistemas de *wetlands* construídos (SWC) podem ser considerados reatores de crescimento biológico aderido para redução de DBO e nitrogênio (CRITES et al., 2014).

Dentro dos SWC a matéria orgânica presente no efluente pode ser degradada por ação microbiológica, tanto em regiões aeróbias (presença de oxigênio) quanto em regiões anaeróbia (ausência de oxigênio) (KADLEC; WALLACE, 2009).

A demanda de oxigênio a partir da degradação de DQO é estimada aproximadamente em 0,7 g O_2 /g DQO (SENGEWEIN, 1989). Já a demanda de

oxigênio requerida no processo de nitrificação é calculada em aproximadamente 4,3 g O₂/g de nitrogênio total Kjeldahl (WIESMANN, 1994).

3.4.6 Fósforo

O fósforo está entre os nutrientes essenciais para o crescimento de plantas como também para o metabolismo de alguns microorganismos. Em meio líquido pode ser encontrado em sua forma orgânica, por concentrações de proteínas, lipídios e aminoácidos, e na forma inorgânica, como ortofosfato (PO₄³⁻) e polifosfatos (PoliP) (SPERLING, 1996).

Segundo Philippi e Sezerino (2004) os mecanismos de retenção de fósforo em SWC's somam processos físicos, químicos e biológicos. Lohmann (2011) ainda discorre sobre os seguintes processos: a mineralização, onde o fósforo orgânico é convertido em ortofosfato por enzimas fosfatases; a incorporação do fósforo por macromoléculas celulares; a precipitação ocasionada pela presença de íons como Ca²⁺, Mg²⁺, Fe³⁺ e Al³⁺ juntamente com o pH do meio influenciando na solubilidade do ortofosfato, que, quando formam compostas insolúveis presencia-se os precipitados; e a ação metabólica de microorganismos que podem desencadear alterações nas características do meio, possibilitando a solubilização do fósforo precipitado.

3.4.7 Nitrogênio

O ciclo do nitrogênio em SWC pode ser compreendido pelos processos de amonificação, nitrificação, desnitrificação, assimilação e adsorção.

Em SWC o nitrogênio é encontrado nas formas orgânicas e inorgânicas. O nitrogênio orgânico é aquele presente em proteínas, aminoácidos, ácidos nucleicos e nucleotídeos, e o nitrogênio inorgânico, presente em diferentes estados de oxidação, como nas formas de amônia (NH₄ e/ou NH₃), nitrito (NO₂), nitrato (NO₃), óxido nítrico (NO), óxido nitroso (N₂O) e nitrogênio gasoso (N₂) (OLIJNYK, 2008).

No processo de amonificação, o nitrogênio orgânico é mineralizado e reduzido em amônia (NH₄ e/ou NH₃) ou íons amônio. Na nitrificação (oxidação), processo aeróbio, o N-amoniacoal passa a ser oxidado em nitrito (NO₂⁻) e íons nitrato. Na desnitrificação (redução), grande parte dos íons de nitrato (NO₃⁻) são reduzidos para nitrogênio molecular (N₂), também ocorre transformação de nitrato em óxido nitroso

(N₂O) em filtros plantados anóxicos ou anaeróbios, pela ação de bactérias desnitrificantes (OLIJNYK, 2008; BAIRD; CANN, 2011).

No processo de assimilação, a necessidade nutricional das macrófitas requerem nutrientes para seu crescimento e reprodução, que são assimiladas através do sistema radicular. Devido seu rápido desenvolvimento em relação a outras plantas, grandes quantidades de nutrientes são incorporados em sua biomassa, onde as formas de nitrogênio mais utilizadas geralmente são o nitrato em maior proporção, quando presente em maior quantidade no meio, e a amônia (BRIX, 1997).

Outro processo que também influencia no ciclo no nitrogênio em SWC's ocorre pela adsorção da amônia não ionizada ao material filtrante do sistema. No entanto, não é considerada uma forma de remoção permanente desse composto (INTERNATIONAL WATER..., 2000).

Em ótimas condições, a remoção máxima de nutrientes, como o nitrogênio, pelas macrófitas é de 10%, dificilmente atingindo essa percentagem (INTERNATIONAL WATER..., 2000). E um estudo realizado no Canadá com a utilização da macrófita *Thypha* sp. reportou-se que a remoção de nitrogênio do sistema, por meio de poda regular das plantas atingiu 10% (REED et al., 1995).

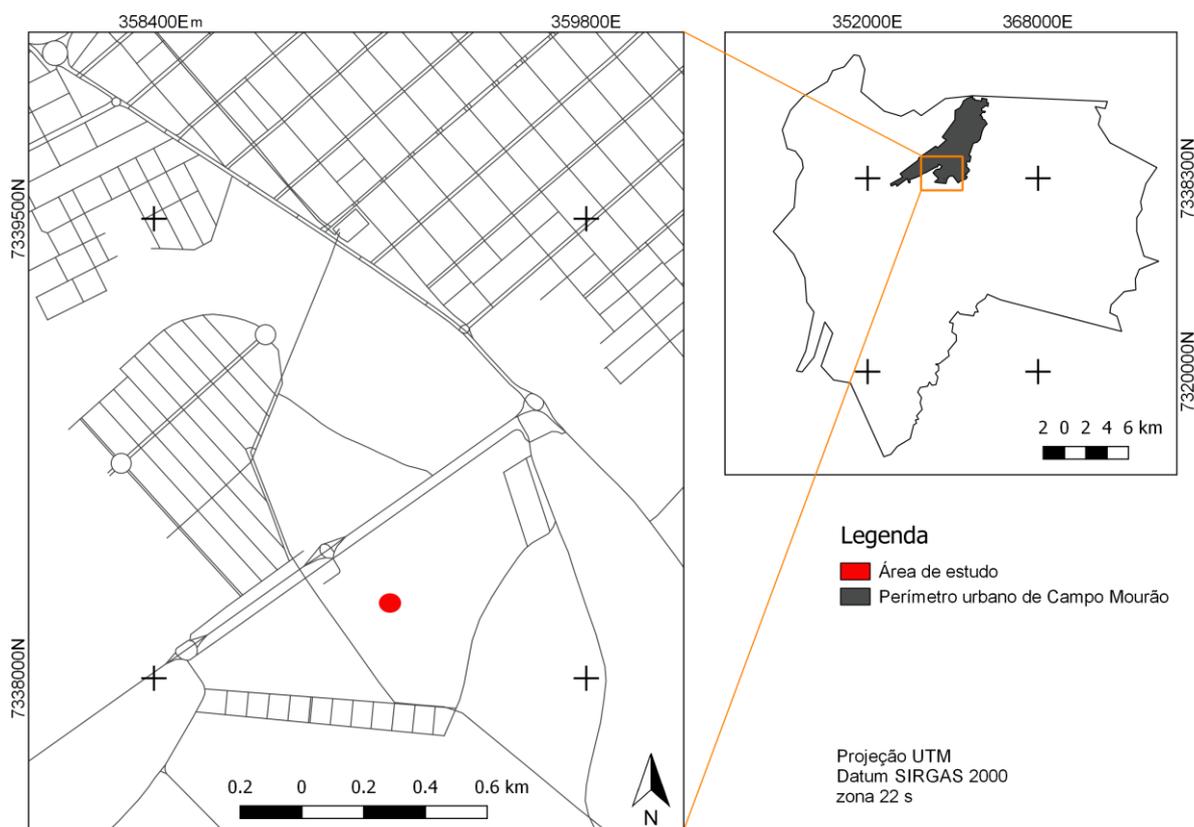
4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização

O sistema de *wetland* construído (SWC) foi implantada ao lado do Bloco H da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Campo Mourão (UTFPR – CM) localizado na Via Rosalina Maria Ferreira, 1233 - Vila Carola, Campo Mourão - PR, CEP: 87301-899, nas coordenadas 24°03'4,6" S e 52°23'07,0" W (Figura 1).

O clima predominante é o Cfa e Cfb (INSTITUTO DE TERRAS..., 2008), que apresentam temperaturas médias no mês mais frio abaixo de 18 °C, e no mês mais quente acima de 22 °C e até 22 °C no Cfb, com chuvas concentradas nos meses de verão, mas sem estação seca definida (INSTITUTO AGRONÔMICO..., 2017).

Figura 1- Mapa de localização da UTFPR – CM e localização da área de estudo onde foi implantado o SWC.



Fonte: Autoria própria (2017).

4.2 Montagem do *Wetland* construído

A montagem do sistema de *wetland* construído (SWC) não foi embasada em cálculos e metodologias geralmente utilizadas em modelos de SWC de fluxo intermitente. O sistema analisado no presente estudo foi confeccionado tendo como base características dos substratos filtrante de pilotos já em funcionamento dentro da UTFPR-CM, porém, em maior escala. Tais pilotos desenvolvidos por Mello (2015) foram confeccionados em tanques com volume de 150 L e volume útil de 30 L, o substrato filtrante foi composto por 0,30 m de areia média e 0,15 m de brita número 3. Em sua parte inferior, próximo a base, foi instalada tubulação com 0,15 m de comprimento, 25 mm de diâmetro e orifícios de 5 mm de diâmetro espaçados em 0,02 m cada. Esta foi recoberta por sombrite, e em seguida as macrófitas foram fixadas na camada de brita.

No presente estudo, objetivou-se implantar um arranjo de SWC próximo a horta da UTFPR-C, ao lado do Bloco H, a partir de adaptações e ampliação do projeto executado por Mello (2015).

4.2.3 Implantação do sistema

O sistema foi montado ao ar livre, estando exposta às influências das condições climáticas/atmosféricas, ao lado da horta da Universidade, próxima ao Bloco H (Figura 2).

Figura 2 - Local de instalação do experimento.



Fonte: Autoria própria (2017).

O objetivo da instalação foi contemplar três estruturas dispostas em um gradiente hidráulico. Para tanto, foi aproveitado o plano inicial do solo, onde encontra-se a horta, para colocar a estrutura de nivelamento para o tanque destinado ao armazenamento da água após o tratamento. Uma segunda área, mais elevada, local de acomodação do solo entre dois muros de arrimo já existente no local, foi instalado, foram instalados blocos de concreto destinados ao nivelamento do tanque do sistema de *Wetland* construído (Figura 3).

Figura 3 - Estrutura de apoio para os tanques do sistema.



Fonte: Autoria própria (2017).

A estrutura de nivelamento do tanque do SWC foi realizada de modo a permitir a passagem da tubulação que sai de sua base até o tanque de armazenamento no nível inferior (Figura 4).

Figura 4 - Tubulação de saída do *Wetland* para o reservatório



Fonte: Autoria própria (2017).

Posteriormente, houve a necessidade de reforçar a base de apoio do tanque, para evitar possível cisalhamento após inserção do substrato filtrante e efluente, por meio de blocos de cimento e tábuas de madeira para nivelamento. Entre o encanamento ligando o SWC e o tanque de armazenamento foi instalada uma válvula

para controle do efluente. Sendo aberta em ocasião de término do período de detenção hidráulico do efluente no SWC (Figura 5).

Figura 5 - Tubulação de saída do SWC por meio de túneo para sustentação do tanque



Fonte: Autoria própria (2017).

No fundo do tanque utilizado para montagem do SWC foi instalada uma rede de tubulação de drenagem. Essa tubulação foi confeccionada com tubos de PVC de 25 mm, três soldáveis de 25 mm, quatro capas soldáveis de 25 mm inseridas nas extremidades livres dos tubos e um adaptador curto para 50 mm posicionado no centro de sua base. Na extensão dos tubos foram feitos furos perpendiculares, com o auxílio de um vergalhão de superfície lisa de 6,3 mm aquecido em Bico de Bunsen, atravessando de um lado ao outro (Figura 6).

Figura 6 - Tubulação de drenagem após perfuração com vergalhão aquecido.



Fonte: Autoria própria (2017).

Em seguida, essa tubulação de drenagem foi revestida por uma dupla camada de sombrite 50 % para evitar a saída de areia da camada do filtro físico para o tanque de armazenamento de água tratada (Figura 7).

Figura 7 - Tubulação de drenagem recoberta com sombrite 50 %.



Fonte: Autoria própria (2017).

Pronta, a tubulação foi ligada a saída por um orifício centralizado base do tanque. Este contendo um adaptador soldável com flange para tubo de 50 mm (Figura 8).

Figura 8 - Tubulação de drenagem instalada no fundo do tanque.



Fonte: Autoria própria (2017)

Então foi despejada areia de tamanho médio, formando uma camada de 19 cm de areia contendo a tubulação de drenagem em seu interior, e esta paralela ao assoalho do tanque a uma distância de 5 cm. Altura proporcionada por causa do adaptador utilizado entre a tubulação de drenagem e a flange (Figura 9).

Figura 9 - Fundo do tanque após inserção de camada de 19 cm de areia.



Fonte: Autoria própria (2017).

Sobre a camada de areia foi depositado uma camada de 23 cm de pedra brita número 4, compondo o substrato para posterior fixação das macrófitas aquáticas (Figura 10).

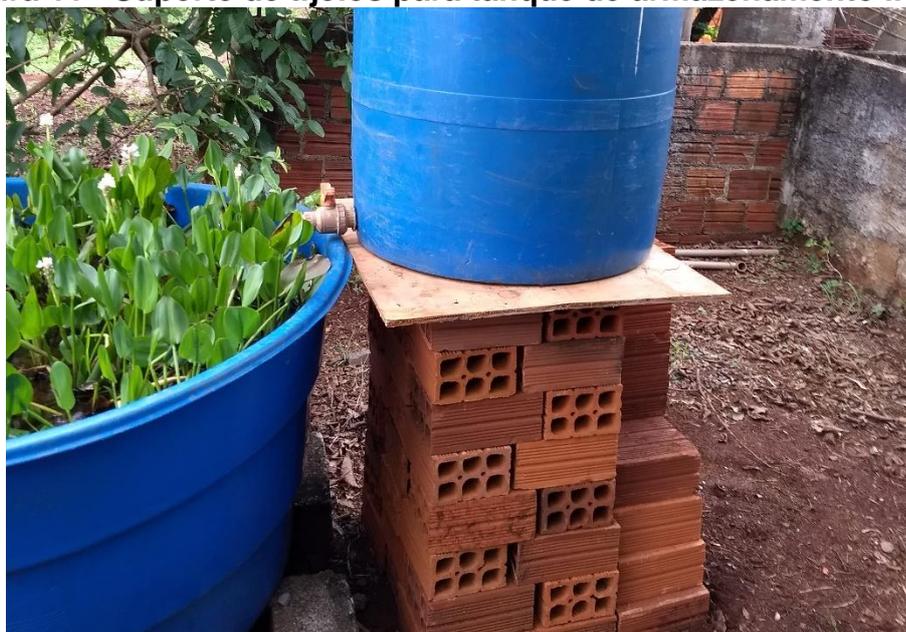
Figura 10 - Tanque após inserção de camada de pedra brita nº 4.



Fonte: Autoria própria (2017).

Uma terceira estrutura foi montada utilizando tijolos empilhados, intercalando sua ordem em cada camada para aumentar a resistência, com intuito de servir de base para um tanque de polietileno de alta densidade e alto peso molecular (HDPE) em um nível acima do SWC (Figura 11). Deste modo, promovendo gradiente hidráulico necessário para a fluidez do sistema por meio da ação da gravidade. O objetivo da bombona foi o armazenamento inicial do efluente bruto proveniente da caixa de passagem de esgotos do Bloco C e E, contendo uma válvula de escape em sua base. Posteriormente, com a abertura da válvula, o efluente é despejado no tanque contendo o SWC em um volume controlado por meio da observação do nível do efluente inserido na bombona.

Figura 11 - Suporte de tijólos para tanque de armazenamento inicial.



Fonte: Autoria própria (2017).

Após montagem do SWC foram plantados indivíduos de *P. parviflora* de modo a cobrir toda área superficial da camada de brita. As plantas foram mantidas a base de água potável para sua sobrevivência até introdução de esgotos.

4.3 Monitoramento

4.3.1 Coleta e armazenamento de esgotos domésticos

Os horários de maior utilização de água e posterior geração de esgotos nos blocos de salas de aulas na Universidade são irregulares e aleatórios, no entanto percebeu-se o maior volume de geração é concentrado nos horários de intervalos, de almoço e janta, sendo estes apresentados na tabela 4.

Tabela 3 – Ocasões de maior geração de esgotos.

Ocasões	Intervalo de tempo
Intervalo da manhã	10:00 às 10:20
Almoço	11:30 às 13:50
Intervalo da tarde	15:30 às 15:50
Janta	17:30 às 20:00h

Fonte: Autoria própria (2017).

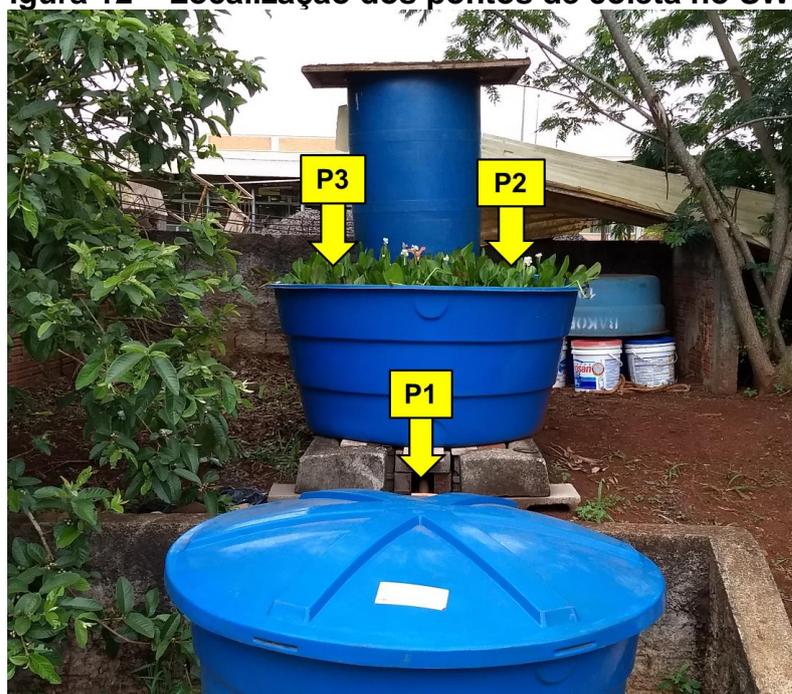
O esgoto então foi coletado e armazenado em um tanque inicial por aproximadamente 16 horas até sua inserção no SWC. Esse intervalo de tempo foi

necessário devido ao pré estabelecimento do horário de introdução do efluente no sistema, agendado para as 08:00h da manhã, onde não haveria a possibilidade de sua coleta ocasionada pela não geração do mesmo neste horário. Dessa forma, o esgoto foi inserido no sistema de tratamento às 08:00h da manhã do primeiro dia de experimento. Deste, coletou-se uma amostra a ser utilizada na primeira bateria de análises com intuito de caracterizar do esgoto bruto, sendo considerado a amostragem de tempo zero da série temporária de análises.

4.3.2 Parâmetros e metodologias de análises

Além das análises realizadas para caracterização do esgoto bruto, o monitoramento constituiu-se de análises realizadas a cada 12 horas durante um período de 48 horas de TDH, nos dias 09, 10 e 11 de novembro de 2017. A cada intervalo, utilizando potes de vidro previamente esterilizados, coletou-se 600 mL do efluente no interior do SWC em três pontos distintos. O ponto de coleta P1 refere-se ao efluente do sistema, aquele que percolado pelo substrato filtrante e escoado pelo encanamento de drenagem. Já os pontos de coleta P2 e P3 estão localizados a 0,15m abaixo da superfície da camada de brita nº 4 (Figura 12).

Figura 12 – Localização dos pontos de coleta no SWC.



Fonte: Autoria própria (2017).

Tendo sido estabelecido o intervalo de análises, os dois horários de coleta foram às 8:00h e às 20:00h. Os resultados obtidos após o tratamento do efluente foram comparados com a Resolução do CONAMA 357 (Brasil, 2005) e CONAMA 430 (Brasil, 2011). Os parâmetros e suas respectivas metodologias de análises que foram utilizados são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Parâmetros e metodologias de análises.

Parâmetro	Metodologia de análise
Temperatura	(EATON et al, 2005)
Turbidez	
pH	
Sólidos totais	
Condutividade	
Nitrogênio total (NTK)	
Nitrogênio amoniacal	
Nitrito	
Nitrato	
DQO	
Fósforo total	
Alcalinidade total	
Coliformes totais e termotolerantes	

Fonte: Autoria própria (2017).

4.4 Padrões para reúso

Segundo a NBR 13.969 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA..., 1997) o reúso de esgoto doméstico tratado é destinado para fins não potáveis, mas que contenha características que não ofereçam riscos sanitários, tais como a irrigação de jardins, lavagem de pisos e veículos automotivos, descarga de vasos sanitários, manutenção paisagística de lagos ou canais com água, irrigação de campos agrícolas e pastagens, e etc. Não sendo aconselhável seu uso, mesmo após desinfecção, na irrigação de hortaliças e frutas de ramas rastejantes. Essa norma apresenta a classificação associada aos tipos de reúso, e valores de parâmetros que caracterizam cada classe (Quadro 2).

Quadro 2 - Classificações e valores de parâmetros para esgotos conforme o tipo de reúso

Classes	Tipos de reúso	Parâmetros
Classe 1	Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes:	<ul style="list-style-type: none"> •Turbidez: < 5 UNT •Coliformes termotolerantes: < 200 NMP/100 mL •Sólidos dissolvidos totais: < 200 mg/L •pH: entre 6,0 e 8,0 •Cloro residual: entre 0,5 mg/L e 1,5 mg/L
Classe 2	Lavagens de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes:	<ul style="list-style-type: none"> •Turbidez: < 5 UNT •Coliformes termotolerantes: < 500 NMP/100 mL •Cloro residual: acima de 0,5 mg/L
Classe 3	Reuso em descargas de vasos sanitários:	<ul style="list-style-type: none"> •Turbidez: < 10 UNT •Coliformes termotolerantes: < 500 NMP/100 mL
Classe 4	Reuso em pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual:	<ul style="list-style-type: none"> •Oxigênio dissolvido: > 2,0 mg/L •Coliformes termotolerantes: < 5000 NMP/100 mL <p>Obs: As aplicações devem ser interrompidas pelo menos 10 dias antes da colheita.</p>

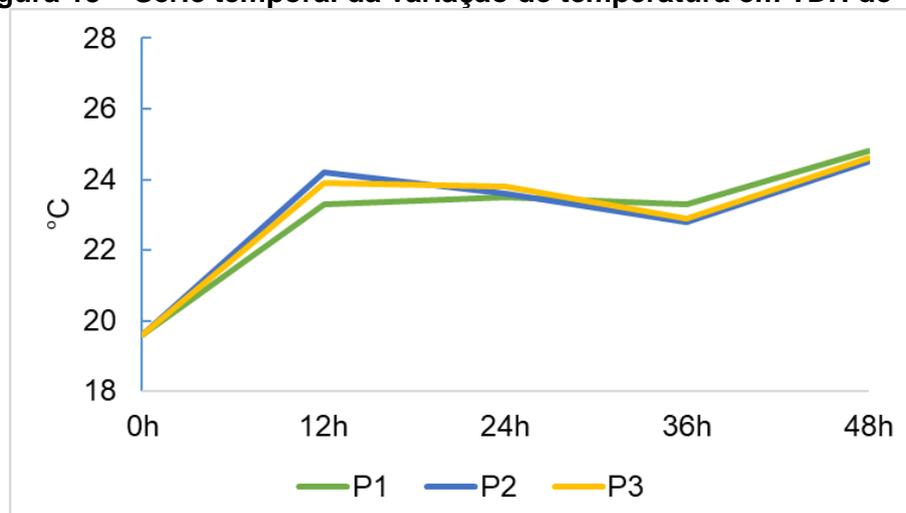
Fonte: ABNT - NBR 13.969/97

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Temperatura das amostras

Os valores de temperatura mensurados no presente trabalho (Figura 13) apresentaram média de 22,9 °C para os três pontos de amostragem durante o período de execução do experimento. A temperatura é um parâmetro físico capaz de influenciar nos processos químicos, físicos e biológicos em um SWC. Como, por exemplo, pode agir como fator inibitório na taxa de conversão da amônia a nitrito, e em seguida, a nitrato, uma vez que influencia no decréscimo ou aumento da população de microrganismos existentes no sistema, como também influencia na taxa de oxigênio dissolvido, influenciando no metabolismo desses microrganismos. Sendo considerada a faixa ótima de temperatura entre 25 e 35°C (SEZERINO, 2006). No entanto, mesmo operando em temperaturas abaixo da faixa ideal, o sistema apresentou bom desempenho, como será evidenciado adiante.

Figura 13 – Série temporal da variação de temperatura em TDH de 48H.



Fonte: Autoria própria (2017).

5.2 Caracterização do esgoto bruto

Os resultados das análises físico-químicas e microbiológicas do esgoto doméstico, inserido no SWC na manhã do primeiro dia e experimento, foram dispostos na Tabela 4.

Tabela 4 - Caracterização do esgoto doméstico.

Parâmetros	Esgoto bruto	
Turbidez (UTN)	149,33	
Condutividade ($\mu\text{S/cm}$)	1712,20	
Sólidos totais	ST (mg/L)	785,33
	SV (mg/L)	290,67
	SF (mg/L)	494,67
Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	19,60	
Potencial Hidrogeniônico (pH)	9,64	
Nitrogênio	Total (mg N-NTK/L)	60,11
	Amoniacal (mg/L)	18,76
	Nitrato (mg/L)	0,30
	Nitrito (mg/L)	0,04
Alcalinidade (CaCO_3 mg/L)	181,67	
Ácidos voláteis (HAc mg/L)	17,20	
Fósforo total (mg PO_4^{2-} /L)	6,62	
OD	1,10	
DQO (mg O_2 /L)	289,97	
Coliformes termotolerantes (MNP/10mL)	$14,3 \times 10^6$	
Coliformes totais (MNP/100mL)	$> 24 \times 10^3$	

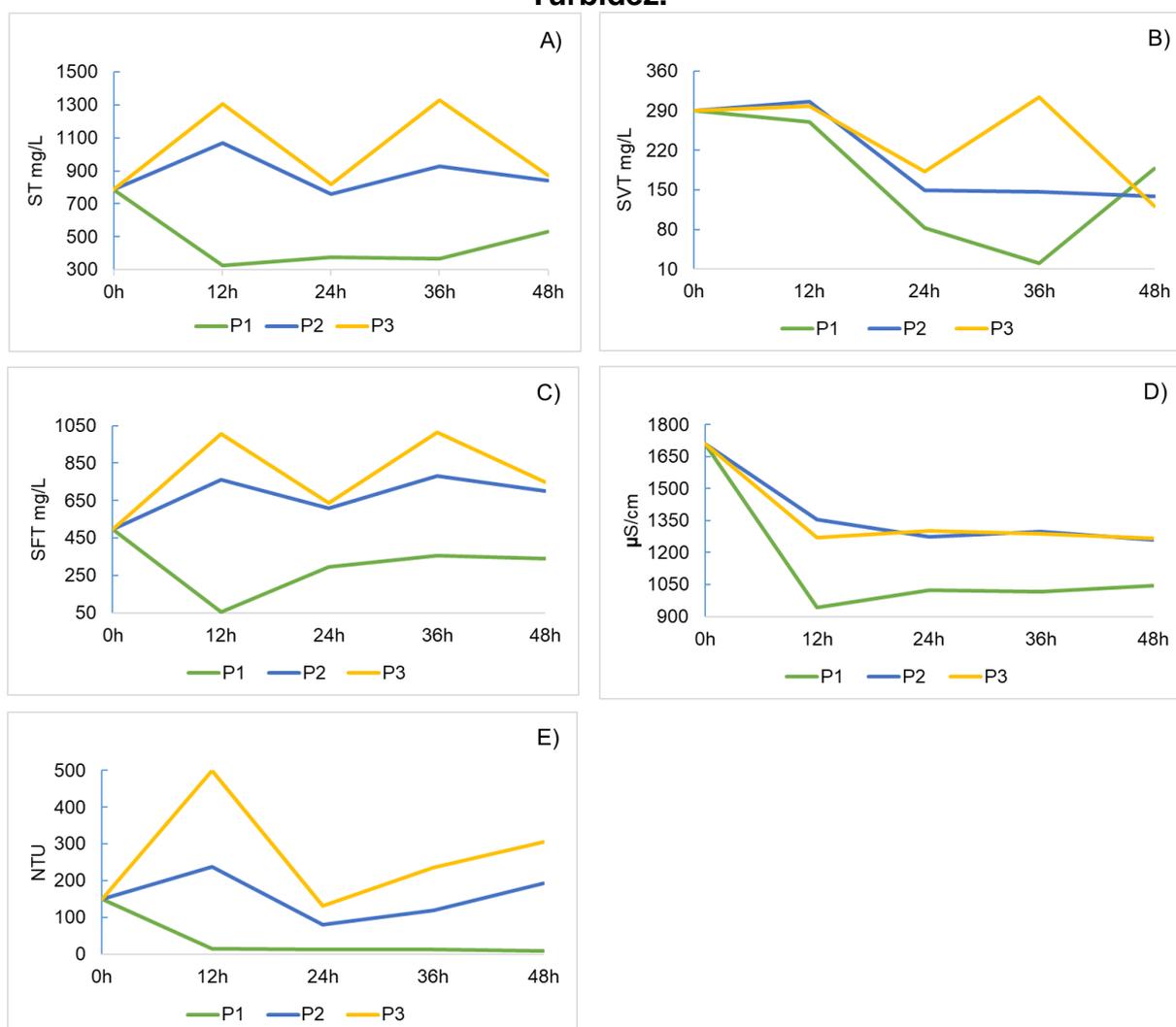
Fonte: Autoria própria (2017).

5.3 Alteração temporal dos parâmetros físicos

Pode-se observar diminuição nos valores dos parâmetros físicos do efluente quando comparados aos do esgoto sanitário. Devido a granulometria da areia, que constitui a camada base do sistema, esse material acaba barrando determinadas partículas sólidas, atuando como filtro físico e contribuindo para redução de sólidos totais no afluente do sistema.

Os sólidos totais apresentaram composição aproximada, obtida a partir da média dos três pontos durante o TDH, de 26% de sólidos voláteis totais (SVT) e 76% de sólidos fixos totais (SFT) (Figura 14-A).

Figura 14 - Séries temporais das concentrações de: A) Sólidos totais (ST); B) sólidos totais voláteis (SVT); C) Sólidos fíxos (SFT); D) Condutividade e E) Turbidez.



Fonte: Autoria própria (2017).

O comportamento temporal nas concentrações de ST para os pontos P2 e P3 apresentaram bruscas variações. Os picos de máxima concentração são observados nas coletas 12 h e 36 h, ambas realizadas às 20:00 h, enquanto os picos de mínima nas coletas 0 h, 24 h e 48 h, ambas realizadas às 08:00 h.

A maior concentração de sólidos presentes próximas à superfície do sistema estão nas coletas realizadas no período da noite, podendo estar associado a ocorrência de maior decomposição da matéria orgânica por bactérias aeróbias, cuja atuação se acentua durante o dia, onde as macrófitas realizam o processo de fotossíntese, oxigenando o substrato. Havendo liberação de material inorgânico, como nitrogênio e fósforo, como subproduto dessa decomposição.

A condutividade do efluente bruto apresentou valor de 1712,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Tabela 4), que nas primeiras 12 h apresentou brusca redução P1, de 44,95% para P1 (Figura 14-D). No intervalo de 24 h apenas 1 pontos apresentou redução, P2 com 6,17%, enquanto em P1 e P3 houve aumento de 8,53% e 2,39% respectivamente. Já nos intervalos de 36 h e 48 h ocorreram pequenas variações para mais ou para menos em torno de 2%. Desta forma, nota-se que não houve influência significativa da ocorrência causada pela chuva neste último intervalo, como reportado por Costa et al. (2003), onde ocorreu aumento da Condutividade em períodos chuvosos.

Com relação ao parâmetro turbidez, houve redução para P1-12 h, com eficiência de 90,76%, aumentando com o decorrer do tratamento (Figura 14-E). Os dados apontam que o filtro físico desempenhou papel fundamental em sua redução. Para o mesmo intervalo ocorreu aumento da turbidez nos outros dois pontos, em destaque P3, onde foi reportado aumento de 234,82% com relação ao efluente bruto. Esse fenômeno pode ser explicado pelo fato de que os pontos de coleta P2 e P3 estavam em contato próximo à superfície do sistema, local de decomposição da biomassa das macrófitas, próximo à zona de raízes, local de formação do biofilme a partir do despejo do esgoto, e também local de primeira barreira física imposta ao efluente inserido no sistema, estando este em maior concentração nesse patamar. Já no intervalo 24 h correu redução de 66,02% (P2) e 73,74% (P3) em relação ao intervalo anterior. Segundo Nuvolari (2011) a eficiência do tratamento em filtros biológicos está relacionada com a área específica, quanto maior a permeabilidade maior será a percolação do esgoto no sentido vertical.

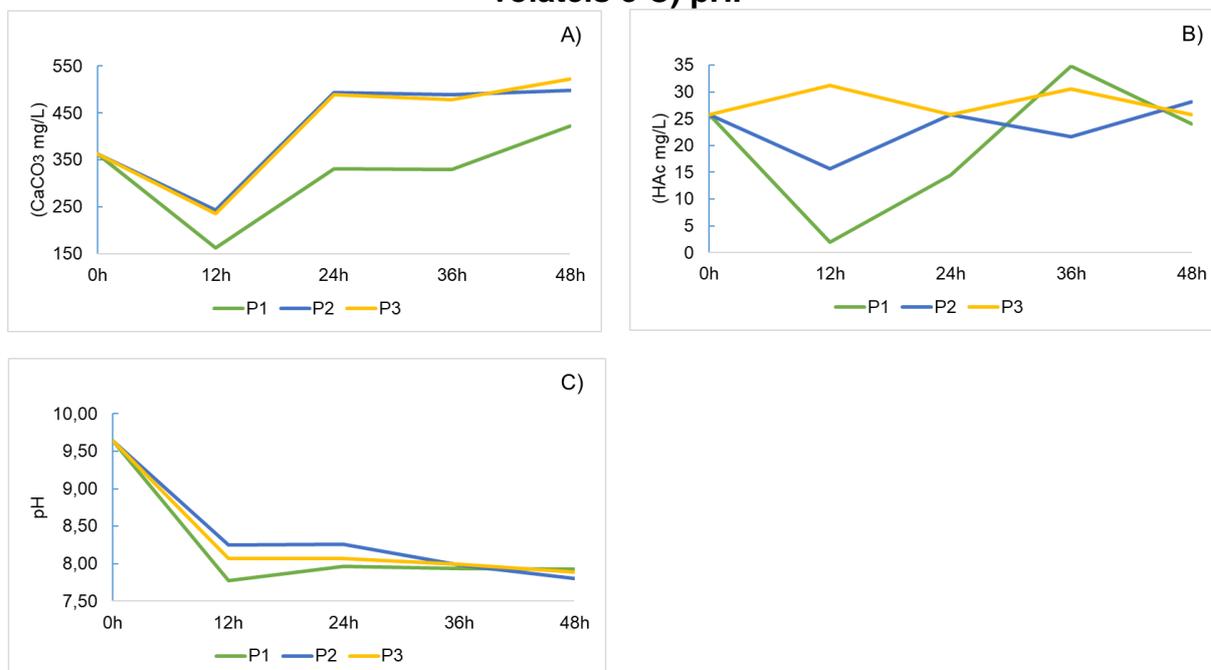
Na brita número 4, ocorre formação da massa biológica, semelhante a uma película gelatinosa, composta por microrganismos (biofilme) e matéria orgânica que é retida e decomposta. Logo, o fato da eficiência de remoção da turbidez ter se elevado em 24 h pode estar associado a formação e atuação do filtro biológico em patamar abaixo dos pontos de coleta P2 e P3. Nos intervalos 36h e 48h ocorreu novamente uma elevação da turbidez.

5.4 Alteração temporal dos parâmetros Químicos

Analisando a alcalinidade, inicialmente em concentração de 181,67 mg/L (Tabela 4), observa-se uma redução média, para as três amostras, de 41,22% durante

as primeiras 12 h de tratamento (essa queda pode estar associada à dureza, que não caso não foi analisada) (Figura 15-A).

Figura 15 - Séries temporais das concentrações de: A) alcalinidade; B) Ácidos voláteis e C) pH.

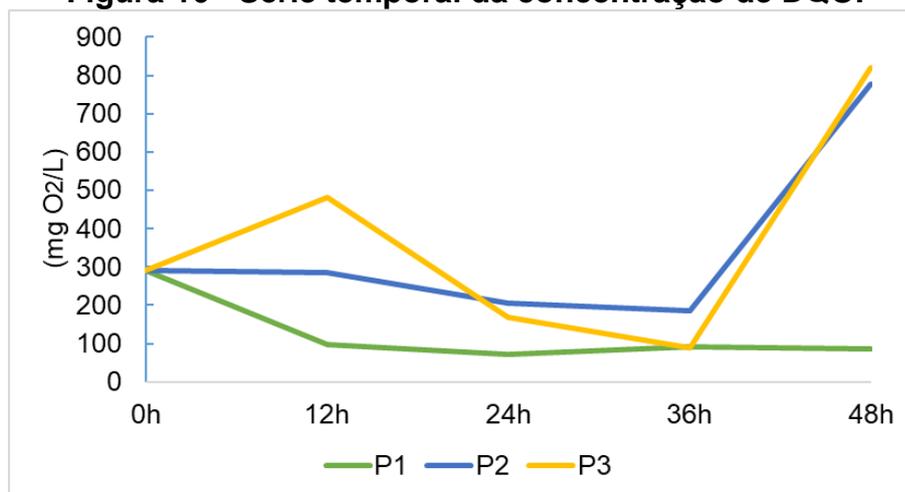


Fonte: Autoria própria (2017).

Após as 12 h iniciais, a alcalinidade em P2 e P3 apresentaram valores superiores aos de entrada. Entre o intervalo de 12 h à 24 h o parâmetro se elevou em uma média de 104,74%. A partir de então, se mantendo relativamente constante até 36h e voltando a se elevar em 48 h em uma média de 13,15%.

A concentração de ácidos voláteis no sistema apresentou pequenas variações durante o período de tratamento, apresentando uma média de 20,2 mg/L em P1, 23,4 mg/L em P2 e de 27,8 mg/L em P3 (Figura 15-B).

Na análise temporal da Demanda Química de Oxigênio (DQO) obteve-se o valor inicial de 289,97 mg O₂/L (Tabela 4). Nas primeiras 12 h, P1 e P2 obtiveram reduções, onde P1 se destacou com eficiência de 66,15% (Figura 16). Já para P3 no mesmo intervalo houve o aumento de 66,15% em relação ao esgoto bruto. Nas amostragens em 24 h os três pontos apresentaram redução do parâmetro. P3 obteve eficiência de 65,09%.

Figura 16 - Série temporal da concentração de DQO.

Fonte: Autoria própria (2017).

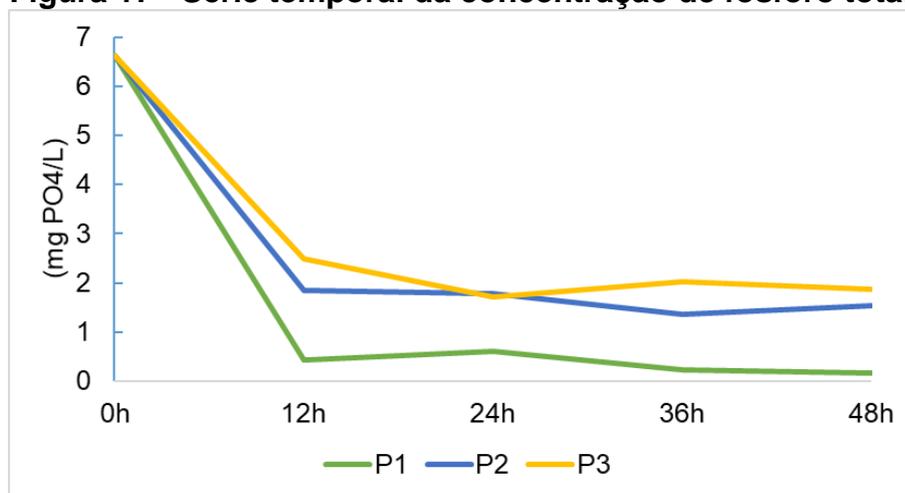
Após redução da DQO em P1-12 h, este se manteve com pouca variação durante a série temporal. Podendo estar associado à ação de retenção da matéria orgânica, sem ocorrência de saturação, no meio filtrante e/ou pela ação decompositora proporcionada pelos microorganismos no sistema. Enquanto isso, P2 e P3 apresentaram elevado aumento de DQO no intervalo entre 36 h e 48 h.

O patamar de amostragem dos pontos P2 e P3, localizados a cerca de 0,15 m abaixo da superfície da camada de brita, podem ser considerados uma zona de degradação, onde ocorre o lançamento do efluente com elevada concentração matéria orgânica e pH. A baixa redução de DQO para P2 e a elevação em P3 podem estar associados ao início da ação bacteriana de degradação próximo às raízes, por ser o primeiro despejo de esgotos no sistema, no caso de P1, e a elevada concentração de matéria orgânica em pontos distintos no sistema e menor densidade da rede de raízes em P2.

Após 36 h o efluente volta a apresentar elevação nos valores de DQO para os pontos P2 e P3, indicando ocorrência de saturação de matéria orgânica em uma faixa de 0,15 m abaixo da superfície. Em análises realizadas por Mello et al. (2015) em sistema e região fitogeográfica semelhantes, reportou-se a eficiência de 84% em um período de análise, e posteriormente 41%, onde a saturação foi apontada como causa na redução de eficiência. E de acordo com Olijnyk (2008), com o passar do tempo, com crescimento de microorganismos presentes no biofilme a tendência é que ocorra o aumento no consumo de oxigênio por ação de seu metabolismo, desta forma, aumentando a DBO e conseqüentemente da DQO.

Pode-se notar redução acentuada na concentração de fosfato total (Figura 17), onde o esgoto bruto possuía 6,62 mg PO₄ /L e nas primeiras 12 horas de tratamento e as eficiências nas reduções do parâmetro foram de 93,52% (P1), 72,25% (P2) e 62,46% (P3). Tais eficiências na remoção de fosfato em curto período de tempo, principalmente em P1, estão associados a ação filtradora do substrato, sedimentação, adsorção, complexação, trocas iônicas e degradação microbiológica tanto em meio aeróbio quanto anaeróbio (PHILIPPI; SEZERINO, 2004).

Figura 17 - Série temporal da concentração de fósforo total.



Fonte: Autoria própria (2017).

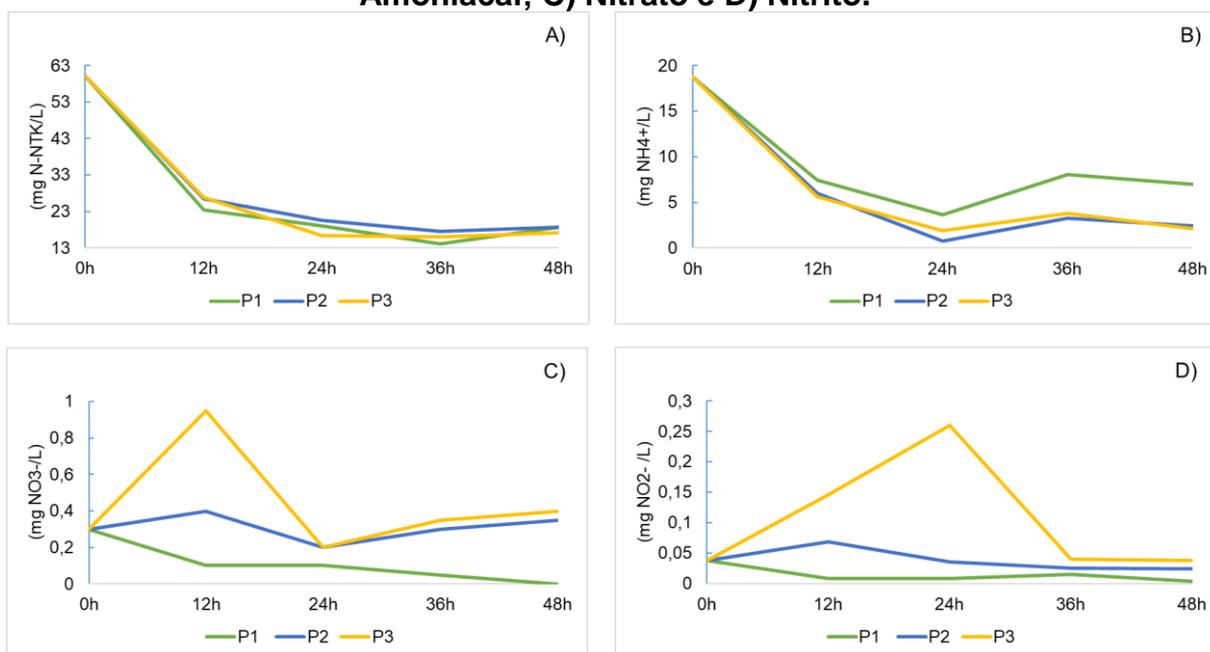
Após a amostragem realizada em 12 h, o fosfato sofreu amplitudes de variações pouco significativas quando comparados ao esgoto bruto, não ultrapassando perda de 10% na eficiência de redução em 12 h.

A plantas do sistema, no caso *P. parviflora*, são capazes de armazenar nutrientes em seu tecido, e por meio da decomposição acabam voltando para o sistema em determinado período quando não coletadas (KADLEC; KNIGHT, 1996). Tais variações ocasionadas por esse processo, mesmo que pequenas, passam a ser significativas se levado em consideração os parâmetros para lançamento de efluentes tratados estabelecidos pela Resolução 430/2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (Brasil, 2011), que estabelece a concentração de fósforo em 0,050 mg/L.

Sendo que o início do processo de remoção de nitrogênio no SWC se inicia com a amonificação do nitrogênio orgânico presente no esgoto bruto, a apresentação de resultados e discussão se inicia nesse processo.

No presente estudo, a disponibilidade de N-amoniaco presente no esgoto bruto foi de 18,76 mg/L (Tabela 4). Durante a série temporal de análises do efluente no sistema, seu comportamento foi característico nos três pontos, variando apenas em grau. As eficiências médias na remoção de N-amoniaco foram de 65,24% (p1), 83,46% (P2) e 82,09% (P3) durante o TDH (Figura 18-B).

Figura 18 - Séries temporais das concentrações de: A) N-Total; B) N-Amoniaco; C) Nitrato e D) Nitrito.



Fonte: Autoria própria (2017).

A concentração de nitrito inicial foi de 0,0375 mg/L (Tabela 4). P1 obteve eficiência na redução de 80%, seguida de baixa variação com relação ao esgoto bruto. Um dos pontos que chamou atenção por seu elevado aumento foi P3, que do período inicial até 24 h se elevou constantemente até o percentual de 593,33% superior ao inicial (Figura 18-D). A partir de então, sofrendo redução de 84,80%, se mantendo com pouca variação até 48h. P2 sofreu apenas uma elevação na concentração de 82,67% nas primeiras 12h, seguido de redução em 48,17% em 24h, e se mantendo com pouca variação desde então.

Avaliando-se a média dos valores de pH para os três pontos ($7,99 \pm 0,27$) durante a série temporal, estes se apresentaram adequados para o processo de nitrificação, estando dentro da faixa recomendada por IWA (2000), entre 7,5 - 8,6.

Trabalho realizado por Sezerino (2006) em sistema parecido, porém em fluxo vertical intermitente, observou-se maiores taxas de nitrificação em sistemas

preenchidos com 60cm de areia, em comparação com módulos com camadas de 30cm de areia.

Para a remoção de nitrato, que inicialmente possuía concentração de 0,30 mg/L (Tabela 4), o sistema apresentou elevação nas primeiras 12 h para P2 e P3, sendo que em P3 ocorreu aumento de 216,67% (Figura 18-C). Em 24h a concentração aferida foi menor que a inicial para os três pontos, com acentuada redução em P3, de 78,95%. A partir de então, a concentração de Nitrato em P1 continuou reduzindo, até sua total eliminação ao término do período de tratamento. Ocorreu aumento do parâmetro após 24 h em P2 e P3 em média de 63,5% e 87,5%, respectivamente.

As macrófitas aquáticas incorporam o nitrogênio na sua biomassa, utilizando-o nas formas de amônia e nitrato. Sendo assim, a redução de nitrato é geralmente menor, já que o metabolismo das plantas é muito mais lento que dos microrganismos. Além do fato das bactérias que ocorrem nas raízes utilizarem o oxigênio liberado e oxidarem a amônia em nitrito e este em seguida é oxidado formando nitrato (RICKLEFS, 1996; PHILIPPI; SEZERINO, 2004).

O nitrogênio total kjeldahl (NTK), assim como o nitrogênio amoniacal, apresentaram variações semelhantes entres os três pontos durante o período de TDH. O esgoto bruto apresentou concentração de NTK em 60,11 mg/L (Tabela 4), e as eficiências médias na remoção do parâmetro foram de 18,85% (P1), 20,81% (P2) e 19,13% (P3).

5.5 Alteração temporal do parâmetro biológico

Os resultados das análises microbiológicas realizadas nos mesmo intervalos utilizados nas análises físico-químicas foram dispostos na Tabela 6.

Tabela 5 - Resultados das análises de coliformes totais e termotolerant (NMP/100 mL).

	Coliformes termotolerantes			Coliformes totais		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3
0h	> 24x10 ³	> 24x10 ³	> 24x10 ³	>24x10 ³	>24x10 ³	>24x10 ³
12h	1,31x10 ³	0,84x10 ³	6x10 ³	>24x10 ³	>24x10 ³	>24x10 ³
24h	0,87x10 ³	0,37x10 ³	0,03x10 ³	>24x10 ³	>24x10 ³	>24x10 ³
36h	-	-	-	-	-	-
48h	>24x10 ³	8,34x10 ³	>24x10 ³	>24x10 ³	>24x10 ³	>24x10 ³

Fonte: Autoria própria (2017).

Durante as primeiras 12 h de tratamento, os índices de coliformes termotolerantes foram reduzidos em 90,82%, 94,1%, 58,04% para P1, P2 e P3 respectivamente. Em 24 h as reduções continuaram efetivas, apresentando valores de 33,50%, 56,52% e 99,5% para os três pontos respectivamente.

Para coliformes totais, de acordo com a metodologia empregada, o Número Mais Provável (NMP) presente foi no mínimo superior a 24×10^3 onde estão inclusas bactérias atuantes no ciclo do nitrogênio, entre outras que apresentam bom desenvolvimento em temperatura aproximada de 35°C.

Neste momento, observa-se que o sistema apresentou bom desempenho levando em consideração que foi avaliado o tratamento de sua primeira utilização empregando esgoto.

As avaliações realizadas em 48 h para o parâmetro reportaram aumento nos índices de coliformes termotolerantes. Este fato pode estar associado à ocorrência de chuva entre os intervalos de análises 24 h e 48 h.

Como os microrganismos presentes no interior de SWC encontram-se aderidos ao substrato filtrante, inclusive em cavidades porosas, e também nas raízes das macrófitas (PELLISSARI, 2013), a ocorrência de chuva pode ter ocasionado o revolvimento de sedimentos que alojavam as bactérias, fazendo com que estas voltassem ao meio e interferissem nas análises. Ou ainda seja mais provável ocorrência de erro durante a análise.

5.6 Alternativas de reúso

Para a proposta de alternativa de reúso do esgoto doméstico tratado observa-se a seguinte situação: Devido a variação de parâmetros ao decorrer do período de análises da eficiência do sistema, principalmente para coliformes termotolerantes, e este ser um indicativo importante na classificação do reúso que será atribuído ao esgoto tratado, mais análises devem ser realizadas no sistema após maior período de funcionamento.

Se analisado os parâmetros obtidos em 24 h, o afluente do sistema poderia ser enquadrado na Classe 4 de reúso da NBR 13.969 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA..., 1997), que compreende o reúso em pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual. Já para o afluente obtido em 48 h, devido os valores reportados para

coliformes termotolerantes, este necessitaria de tratamento anterior ou após SWC, para que atingisse padrões de reúso.

6 CONCLUSÃO

Entre os fatores limitantes para a eficiência de remoção de poluentes, a temperatura tendo se mantido abaixo da faixa considerada ideal (25-35°C) durante todo o experimento, com uma média de 22,9 °C. Já o pH do meio, a média para os três pontos durante o experimento foi de 7,99, se mantendo adequado para o processo de nitrificação. Mesmo a temperatura estando abaixo da considerada ideal, não houve interferência na eficiência do tratamento, onde a nitrificação foi completa, e o nitrato completamente removido

O substrato filtrante desempenhou papel fundamental na redução da turbidez do efluente do sistema (P1), apresentando eficiência de 90,76% nas primeiras 12 h, e aumentando ao decorrer do período de tratamento, dando indício do desempenho da formação do filtro biológico. Outros parâmetros cuja eficiência de remoção aumentou conforme o tempo de tratamento foram: Turbidez, DQO, NTK, N-amoniacoal, Nitrito e Nitrato.

As características observadas no efluente tratado no período de 24 h possibilitaram seu enquadramento de reuso em pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial e sistemas de irrigação pontual.

Os resultados obtidos no tratamento desempenhado pelo arranjo do sistema de *wetland* construído (SWC) foram satisfatórios. Considerando que no presente estudo foi avaliado o desempenho do sistema em seu primeiro regime de batelada alimentada com esgoto, há necessidade de mais análises em períodos posteriores, onde a comunidade microbiana e as macrófitas estarão melhor estabelecidas às novas condições do meio. Indica-se também a realização de análises granulométricas do substrato filtrante, perfil de monitoramento do esgoto armazenado no tanque inicial durante o decorrer do experimento e aplicação de análises estatísticas para melhor compreensão do desempenho do sistema.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR 13969: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **CONJUNTURA DOS RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL: INFORME 2016**. Brasília - DF: [s.n.]. Disponível em: <<http://www3.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/informe-conjuntura-2016.pdf>>. Acesso em: 2016.

BAIN, Roberto; CRONK, Ryan; WRIGHT, Jim; YANG, Hong; TOM, Slaymaker; BARTRAM, Jamie. Fecal Contamination of Drinking-Water in Low- and Middle-Income Countries: A Systematic Review and Meta-Analysis. **PLoS Medicine**, v. 11, n. 5, 2014.

BAIRD, Colin; CANN, Michael. **Química ambiental**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2011. 844p.

BRASIL, **Resolução CONAMA nº357**, de 17 de março de 2005. Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional.

BRASIL, **Resolução CONAMA nº430**, de 13 de maio de 2011. Condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005 do CONAMA.

Brasil. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – NSA. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2015. Brasília: SNSA/MCIDADES, p 212, 2017.

BRIX, Hans. Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands? *Wat. Sci. Tech.*, v. 35, n. 5, p. 11-17, 1997.

COSTA, Luciana de Luna; CEBALLOS, Beatriz; MEIRA, Celeide; CAVALCANTI, Mário. Eficiência de Wetlands construídos com dez dias de retenção hidráulica na remoção de colifagos e bacteriófagos. **Revista de biologia e ciências da terra**. Volume 3, Universidade Estadual da Paraíba e Universidade Federal de Campina Grande, 2003.

CRITES, Ronald W., MIDDLEBROOKS, E. Joe., BASTIAN, Robert K., REED, Sherwood C. **Natural wastewater treatment systems**. 2 Ed. Ed.Boca Raton FL: CRC Press, 2014.

CROOK, James. Critérios de qualidade da água para reúso. **Revista DAE-SABESP**, Nº 174, p. 10–18, 1993.

DAN, N. P., KRISTENSEN, G. G., VREDENBREGT, L.H.J. Comparative Evaluation of Yeast and Bacterial Treatment of High Salinity Wastewater based on biokinetic coefficients. **Bioresource Technology**, v.87, p. 51-56, 2003.

OPPELT, E. Timothy. Introduction to Phytoremediation. **U.S. Environmental Protection Agency**, v. 107, n. Fev., p. 1–72, 2000.

EATON, A.D., et al.(Ed.). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21th ed. Washington: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation, 2005.

INSTITUTO AGRÔNOMO DO PARANÁ – IAPAR, 2008. Disponível em: <http://www.itcg.pr.gov.br/arquivos/File/Produtos_DGEO/Mapas_ITCG/PDF/Mapa_Climas_A3.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2017.

INSTITUTO DE TERRAS CARTOGRAFIA E GEOCIÊNCIAS - ITCG. 2010/2006. Disponível em <<http://www.itcg.pr.gov.br/>>. Acesso em: 30 mar. 2017.

International Water Association - IWA. Constructed Wetlands for Pollution Control: Processes, Performance, Design and Operation. Scientific and Technical Report. No. 8. London, England: IWA Publishing, 2000. 156 p.

KADLEC, Robert H.; KNIGHT Robert. L. Treatment Wetlands. Boca Raton, Florida: Lewis Publishers, 1996.

KADLEC, Robert. H.; WALLACE, Scott. D. Treatment wetlands. Boca Raton: CRC, Press 2 ed, 2009.

LAMEGO, Fabiane P.; VIDAL, Ribas A. Fitorremediação: Plantas Como Agentes De Despoluição? Pesticidas: **Revista de Ecotoxicologia e Meio ...**, v. 17, p. 9–18, 2007.

LEBARON, Philippe, et al. An operational method for the real-time monitoring of E. coli numbers in bathing waters. *Marine Pollution Bulletin*. v.50, p. 652-659, 2005.

LOHMANN, Gabriele. Caracterização de uma estação de tratamento de esgoto por zona de raízes utilizando variáveis abióticas e microbiológicas. 2011. 93f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2011.

MARQUES, David da M. **Terras Úmidas Contruídas de Fluxo Subsuperficial**. In: TRATAMENTO DE ESGOTOS SANITÁRIOS POR ROCESSO ANAERÓBIO E DISPOSIÇÃO CONTROLADA NO SOLO, CAMPOS, J. R. (Coordenador), Rio de Janeiro: ABES, 1999, p 409-435.

MELLO, Débora de; et al. AVALIAÇÃO DE WETLAND CONSTRUÍDA COM PONTEDERIA PARVIFLORA ALEXANDER NO PÓS-TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO DE REATOR UASB. In: **2º Simpósio Brasileiro sobre Wetlands Construídos** – 11 a 13 de Jun. de 2015.

MELLO, Débora de. **Avaliação do uso de sistemas de Wetlands construídas no tratamento de esgotos sanitários**. 2016. 164 f. Dissertação (Mestrado em Ciência

e Tecnologia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

PROSAB. **Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção**/ Francisco Suetônio Bastos Mota e Marcos von Sperling (coordenadores). Rio de Janeiro: ABES, 2009, p 425. ISBN: 978-85-7022-164-3.

MURRAY, Patrick, et al. Capítulo 14: Mecanismos de Patogenicidade Bacteriana. In: **Microbiologia Médica**, 7ª Edição. Rio de Janeiro: Elsevier, 2014. 138-146. ISBN: 978-85-352-7106-5.

NUVOLARI, Ariovaldo. AS DIVERSAS OPÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO. In: **Esgoto Sanitário: Coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola** / coordenação Ariovaldo Nuvolari – 2ª ed. Ver. Atualizada e ampliada. São Paulo: Blucher, 2011.

OLIJNYK, Débora. P. **Avaliação da nitrificação e desnitrificação de esgoto doméstico empregando filtros plantados com macrófitas (wetlands) de fluxos vertical e horizontal–sistemas híbridos**. 2008. 112f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

PELLISSARI, Catiane. **Tratamento de efluente proveniente da bovinocultura de leite empregando wetlands construídos de escoamento superficial**. 2013. 145f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.

PHILIPPI, Luiz. S.; SEZERINO, Pablo. H. **Aplicação de sistemas tipo wetlands no tratamento de águas residuárias: utilização de filtros plantados com macrófitas**. Florianópolis: 144f. Editora do autor, 2004.

QUEIROZ, C. S. **A importância crescente do reúso da água no Brasil e no mundo**. Revista Engenharia, p. 21, 2015.

REED, Sherwood C.; CRITES, Ronald W.; MIDDLEBROOKS, E. Joe. Natural systems for waste management and treatment. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1995. 433 p.

RIBEIRO, Mariangela C. **Microbiologia prática: roteiro e manual: bactérias e fungos**. São Paulo: Atheneu, 2002. 112 p.

RICKLEFS, Robert E. **A economia da natureza**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1996. 470 p.

SENGEWEIN, Hansgeorg G. **Das Sauerstoff-Belebungsverfahren: Abwasserreinigung mit Reinem Sauerstoff**. Academia-Verl. Richarz. St. Augustin. 1989.

SPERLING, Marcos VON. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/UFMG, 1996.

SPERLING, Marcos VON. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 3º ed. Belo Horizonte: CAPITULO 1: Noções de Qualidade de Águas, 2005. v. 1.

TANAKA, Juliana T. et al. DESENVOLVIMENTO DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS EM UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS SANITÁRIOS POR LEITOS CULTIVADOS. In: **2º Simpósio Brasileiro sobre Wetlands Construídos** – 11 a 13 de Junho de 2015.

WHO/UNICEF. 2015. Update and MDG Assessment. World Health Organization, p. 90, 2015.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Atlas Children's Health and the Environment**. 2017, p 139.