



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**  
**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**SIMONE MORENA CAMPOS BRITO**

**INFLUÊNCIA DO MEIO SUPORTE NA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO EM**  
***WETLANDS* TRATANDO ESGOTO SANITÁRIO**

**JOÃO PESSOA - PB**

**2017**

**SIMONE MORENA CAMPOS BRITO**

**INFLUÊNCIA DO MEIO SUPORTE NA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO EM  
*WETLANDS* TRATANDO ESGOTO SANITÁRIO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal da Paraíba – UFPB, como requisito à obtenção do título de Engenheiro Civil, sob a orientação do Professor Dr. Gilson Athayde Barbosa Júnior.

**JOÃO PESSOA – PB**

**2017**

FOLHA DE APROVAÇÃO

SIMONE MORENA CAMPOS BRITO

INFLUÊNCIA DO MEIO SUPORTE NA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO EM  
WETLANDS TRATANDO ESGOTO SANITÁRIO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado em 28/11/2017 perante a seguinte  
Comissão Julgadora:

Gilson Barbosa Athayde Júnior APROVADO  
Gilson Barbosa Athayde Júnior

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Elisângela Maria Rodrigues Rocha APROVADA  
Elisângela Maria Rodrigues Rocha

Universidade Federal da Paraíba

Leonardo Vieira Soares APROVADO  
Leonardo Vieira Soares

Universidade Federal da Paraíba

Prof.ª Andrea Brasiliano Silva

Prof.ª Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga

Matrícula Siape: 1668619

Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

B86i Brito, Simone Morena Campos

Influência do meio suporte na eficiência de remoção em *wetlands* tratando esgoto sanitário./ Simone Morena Campos Brito – João Pessoa, 2017.

48f. il.:

Orientador: Prof. Dr. Gilson Barbosa Athayde Júnior

Monografia (Curso de Graduação em Engenharia Civil) Campus I - UFPB / Universidade Federal da Paraíba.

1. *Wetlands* 2. Tratamento 3. Argila expandida. 4. Resíduo de Construção Civil. I. Título.

BS/CT/UFPB

CDU: 2.ed.524(043)

## RESUMO

No Brasil, o saneamento ainda está muito aquém do ideal, especialmente em relação à coleta e ao tratamento do esgoto sanitário, principalmente em pequenas comunidades, onde a rede de esgotamento sanitário é inexistente. Essas comunidades geralmente utilizam o sistema de fossa e sumidouro para tratamento do esgoto sanitário proveniente de suas residências, isso quando o mesmo não é despejado diretamente nos córregos. Um dos processos de tratamento de águas residuárias domésticas de potencial uso em pequenas comunidades é o tratamento em sistemas *wetlands*. A utilização de *wetlands* construídos no tratamento de esgotos sanitários domésticos ainda é bastante limitada no Brasil. O objetivo deste trabalho foi comparar a eficiência de três *wetlands* construídas, cada qual utilizando um material de enchimento diferente. Verificou-se a utilização de pelotas de argila expandida, material convencionalmente aplicado nas *wetlands* construídas, porém de alto custo, verificou-se material de RCC de natureza cerâmica e de RCC de natureza concretícia, que são materiais de baixo custo, que muitas vezes podem ser encontrados de forma gratuita. Analisou-se estatisticamente a remoção em cada wetland dos seguintes parâmetros: DQO, DBO e nitrogênio amoniacal. Os resultados mostraram que há um melhor desempenho na utilização de RCC de natureza cerâmica como material de enchimento, enquanto que o comportamento das pelotas de argila expandida e o RCC de natureza concretícia são bastante semelhantes.

Palavras-chave: *wetlands*; Resíduo de construção civil; argila expandida; tratamento de esgoto.

## **ABSTRACT**

In Brazil, the sanitation conditions are still far from ideal, especially in relation to the collection and treatment of sanitary sewage, mainly in small communities which do not have sewage networks. These communities usually use the septic tank system for treating sanitary sewage from their houses, but sometimes it is dumped directly in the streams. One of the possible processes of wastewater treatment that can be used in small communities is the treatment in constructed wetlands systems. The use of constructed wetlands in the treatment of domestic sanitary sewage is still very limited in Brazil. The aim of this work was to compare the efficiency of three constructed wetlands, each one using a different filling material. It was observed the use of expanded clay pellets, which have a high cost, the use of ceramic and concrete materials from construction waste, which are low cost materials, that even might be found for free. It was statistically analyzed the removal power in each constructed wetland for the following parameters: COD, BOD and ammoniacal nitrogen. The analyzes demonstrated better results for using ceramic materials from construction waste as a filler, while the performance of the expanded clay pellets and concrete material from construction waste were very similar.

**Keywords:** Wetlands; Construction waste; Expanded clay; Sewage treatment.

“Porque aquele que quiser salvar a sua vida, perdê-la-á; mas aquele que tiver sacrificado a sua vida por minha causa, recobrá-la-á”.  
(Mateus 16, 25).

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, primeiramente, por conceder saúde, sabedoria e paciência para chegar até aqui, e concluir esta etapa e por me sustentar e proporcionar bênçãos na minha vida.

Aos meus pais, Ruy Brito e Mercês Campos, e minha irmã Marina Morena, pelo amor incondicional e por serem a minha base e espelho, além de todo o suporte e apoio.

Ao meu orientador, Gilson Barbosa, pela paciência e ensinamentos passados tanto nesse presente trabalho, como nas disciplinas ministradas, sempre se mostrando solícito a ajudar, mesmo nas dúvidas que não eram relacionadas a universidade em si. E também por ser um exemplo de pessoa e de profissional.

Aos amigos que eu adquiri ao longo do curso, tanto aqueles que me acompanharam nos primeiros períodos do curso: Alene Barbosa, Dayana Gabriel, Felipe Augusto, Larissa Suassuna, Mariana Tavares e Marília Zenaide, que foram peça fundamental para perseverar no curso. Como aqueles que adquiri uma maior convivência na reta final da graduação: Ana Beatriz, Kaline Gomes e Luan Cardoso. E em especial Rafaelle Dantas que foi essencial para a conclusão desse trabalho e conclusão da graduação.

Aos amigos que adquiri fora da Universidade, mas que também foram peça chave para conclusão dessa etapa da minha vida: André Falcone, Brenda Falcone, Erik Carvalho, Daniel Colom, Flávia Gouveia e Flávia Menezes, sempre me apoiando e dando suporte. E também meus pais e irmãos de círculo que sempre me apoiaram e deram forças para continuar na graduação.

Aos professores do DECA que contribuíram na minha formação pessoal e profissional. Em especial: Ana Cláudia, Andréa Silva, Primo Fernandes e Gilson Barbosa.

Agradecer também a Vera Kohlgruber e Anna Abels pela contribuição no planejamento do projeto. Além da FINEP e BMBF pelo apoio financeiro ao projeto BRAMAR, à CAGEPA pela parceria junto ao projeto e ao Laboratório de Tecnologia Química pelo apoio às análises laboratoriais.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Foto de uma <i>wetland</i> Natural .....	18
Figura 02 – Foto de uma <i>wetland</i> construída .....	19
Figura 03: Esquema de um sistema de fluxo superficial .....	21
Figura 04: Esquema de um sistema de fluxo subsuperficial .....	21
Figura 05: Esquema de um sistema de fluxo vertical .....	22
Figura 06: Pelotas de argila Expandida tipo 2215 .....	23
Figura 07: Pelotas de argila Expandida tipo 1506 .....	23
Figura 08: Argila Expandida tipo 0500 .....	24
Figura 10: Brita 1/2 .....	25
Figura 09: Brita 0 .....	25
Figura 11: Rachão ou Gabão .....	26
Figura 12 – Vista em planta da ETE Mangabeira .....	29
Figura 13 - Vista geral da ETE Mangabeira .....	30
Figura 14 - Esboço da construção de <i>Wetlands</i> na ETE Mangabeira .....	31
Figura 16 – RCC de natureza cerâmica utilizado .....	32
Figura 15 – Argila expandida utilizada .....	32
Figura 17 – RCC de natureza concretícia utilizado .....	32
Figura 18 - forro da <i>Wetland</i> instalado e fixado .....	33
Figura 19 – Planta do sistema <i>Wetland</i> .....	33
Figura 20 - Drenos e anel inferior de tubos de drenagem .....	34
Figura 21- seção transversal da <i>Wetland</i> .....	34
Figura 22 – Sistema <i>Wetland</i> em funcionamento .....	35
Figura 23 – Tratamento preliminar .....	35
Figura 24 - Valores do pH durante o período de análise .....	39
Figura 25 - Valores da temperatura durante o período de análise .....	40
Figura 26 - Valores da DBO durante o período de análise .....	41
Figura 27 - Análise estatística dos dados da DBO .....	41
Figura 28 - Valores da DQO durante o período de análise .....	42
Figura 29 - Análise estatística dos dados da DBO .....	43
Figura 30 - Valores do Nitrogênio Amoniacal durante o período de análise .....	44
Figura 31 - Análise estatística dos dados do Nitrogênio Amoniacal .....	45

## LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 01 – Parâmetros de projeto .....	31
Quadro 02 – Datas das coletas.....	36
Tabela 01 - Análise estatística dos indicadores de cada <i>Wetland</i> .....	37
Tabela 02 - Eficiência de remoção .....	38

## LISTA DE SIGLAS

SNIS	Sistema Nacional De Informações Sobre Saneamento
RCC	Resíduo Da Construção Civil
WETCFS	<i>Wetlands</i> Construídas De Fluxo Superficial
WETCFSS	<i>Wetlands</i> Construídas De Fluxo Subsuperficial
WETCFV	<i>Wetlands</i> Construídas De Fluxo Vertical
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
WFS	<i>Wetland</i> De Fluxo Superficial
CETESB	Companhia Ambiental Do Estado De São Paulo
LA <sub>1</sub>	Lagoa Anaeróbia 1
LA <sub>2</sub>	Lagoa Anaeróbia 2
LF	Lagoa Facultativa
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DBO <sub>5,20</sub>	Demanda Bioquímica de Oxigênio em 5 dias, a 20°C
DQO	Demanda Química de Oxigênio
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
PVC	Policloreto De Polivinila
UFPB	Universidade Federal Da Paraíba
PH	Potencial Hidrogênico
EB	Esgoto Bruto
W1	<i>Wetland</i> 1
W2	<i>Wetland</i> 2
W3	<i>Wetland</i> 3
CAGEPA	Companhia de Água e Esgotos da Paraíba

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>SUMÁRIO</b>	14
<b>2. OBJETIVO</b>		16
2.1. OBEJTIVO GERAL		16
2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO		16
<b>3. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO</b>		17
3.1. <i>WETLANDS</i>		17
3.1.1. Histórico Das <i>Wetlands</i>		17
3.1.2. <i>Wetlands</i> Naturais E <i>Wetlands</i> Construídas		17
3.1.3. Tipos De <i>Wetlands</i> Construídas		20
3.1.3.1. <i>Wetlands</i> construídas de fluxo superficial (WETCFS)		20
3.1.3.2. <i>Wetlands</i> construídas de fluxo subsuperficial (WETCFSS)		21
3.1.3.3. <i>Wetlands</i> construídas de fluxo vertical (WETCFV)		22
3.1.4. Materiais De Enchimento		22
3.1.4.1. Pelotas de argila expandida		22
3.1.4.2. Resíduos de construção civil (RCC) de natureza cerâmica		24
3.1.4.3. Resíduos de construção civil (RCC) de natureza concretícia		25
3.1.5. Parâmetros De Controle Da Eficiência Das <i>Wetlands</i>		26
3.1.5.1. Demanda bioquímica de oxigênio		26
3.1.5.2. Demanda química de oxigênio		27
3.1.5.3. Nitrogênio		28
<b>4. METODOLOGIA</b>		29
4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO MANGABEIRA 29		
4.2. CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA <i>WETLANDS</i>		30
4.3. AMOSTRAGEM		35
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>		37
5.1. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS INDICADORES		37
5.2. POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (PH)		38
5.3. TEMPERATURA		39
5.4. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO <sub>5</sub> )		40
5.5. DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO)		42
5.6. NITROGÊNIO AMONIACAL		43
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>		46

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	SUMÁRIO	47
-------------------------------	---------	----

## 1. INTRODUÇÃO

De acordo com a Lei do Saneamento Básico (Lei Ordinária N.º 11.445 de 05 de janeiro de 2007 que estabelece as diretrizes básicas nacionais para o saneamento), saneamento básico é o “conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de: abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana, manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo das águas pluviais.”

No Brasil há uma precariedade muito grande no sistema de coleta de esgoto, segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) referentes à 2015, metade da população brasileira ainda não tem esgoto coletado em seus domicílios. Ainda segundo esse levantamento o número de brasileiros que não tem acesso a água tratada chega a 35 milhões, mais de 100 milhões de pessoas não tem as suas casas ligadas a redes de esgoto no Brasil, e apenas 40% dos esgotos são tratados.

Além de ser essencial para o bem-estar da população, em relação à saúde e qualidade de vida das pessoas, há muitos outros benefícios ao se ter água tratada e coleta e tratamento de esgoto, entre eles estão: melhorias na educação, expansão do turismo, valorização de imóveis, preservação dos recursos hídricos, etc.

Mesmo o saneamento sendo deficiente em todo o país, ainda observa-se que os mais prejudicados pela falta do mesmo são as pessoas que vivem em áreas periféricas onde a infraestrutura sanitária é precária ou inexistente. Devido a isso, são necessários estudos para viabilizar novas formas de tratamento de esgoto, que sejam mais econômicas e viáveis para essas áreas. Como alternativa aos sistemas convencionais de tratamento de esgotos, os sistemas *wetlands* construídas, vem despertando o interesse dessas pequenas comunidades e propriedades rurais, principalmente pela sua simplicidade, baixo custo e facilidade de operação.

As *wetlands* construídas são sistemas naturais de tratamento de esgotos que utilizam plantas aquáticas em leitos filtrantes. São adequados às condições climáticas do Brasil e vêm mostrando bons resultados na diminuição da carga orgânica dos efluentes, diminuindo assim o impacto ambiental causado nos corpos de água (SALARO JUNIOR, 2008).

São projetados com o intuito de receber esgotos e garantir uma melhora na qualidade do esgoto. São sistemas controlados que reproduzem e aceleram as condições naturais encontradas nos terrenos alagados naturais (ORMONDE, 2012).

Esses sistemas possuem grande potencial pra substituir os sistemas convencionais de tanque séptico, filtro e fossa. Sendo uma alternativa para tratamento individual em residências que não possuem coleta de esgotamento sanitário.

Comparado com os sistemas convencionais de tratamento, as *wetlands* construídas são de baixo custo, fácil operação e manutenção e têm um grande potencial para aplicação em países em desenvolvimento, particularmente em pequenas comunidades rurais. (KIVAISI, 2000 apud PAOLI, 2010).

## **2. OBJETIVO**

### **2.1. OBEJTIVO GERAL**

Essa pesquisa objetivou-se, comparar a eficiência de tratamento entre *wetlands* utilizando pelotas de argila expandida, que é o material convencional, e RCC, tanto de natureza cerâmica quanto concretícia na remoção de DBO, DQO e Nitrogênio Amoniacal.

### **2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO**

Analisar estatisticamente os dados de remoção das *wetlands*.



### 3. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

#### 3.1. WETLANDS

##### 3.1.1. Histórico Das *Wetlands*

De acordo com PHILIPI & SEZERINO (2004, apud ORMONDE 2012) as técnicas de wetland para tratamento de esgotos já eram utilizadas pelos Astecas no passado. As pesquisas contendo a utilização de *wetlands* construídos para o tratamento de esgoto datam da década de 1950, na Alemanha, pela bióloga Dr Kathe Siedel.

Segundo SIOLI (1984, apud PAOLI, 2000) os primeiros estudos efetuados no Brasil aconteceram de observações feitas nas várzeas amazônicas. Os lagos que existem ao longo do Rio Solimões, recebem água durante as cheias e, durante o período de vazante, alguns chegam a diminuir bastante as áreas inundadas podendo quase tornar-se simplesmente áreas cobertas com vegetação.

No Brasil o primeiro teste de utilização de sistemas de *wetlands* construídas para purificação de águas foi feita por SALATI & RODRIGUES (1982), com a construção de um lago artificial nas proximidades de um córrego altamente poluído (Rio Piracicamirim) localizado em Piracicaba/SP. Os estudos iniciais foram satisfatórios e os trabalhos foram continuados a partir de 1985, pela Construtora Ambiental Ltda que hoje em dia é conhecido por Instituto de Ecologia Aplicada. Foram desenvolvidas novas tecnologias, procurando-se aumentar a eficiência do sistema, e diminuir os investimentos. (SALATI et al, 2009).

##### 3.1.2. *Wetlands* Naturais E *Wetlands* Construídas

O termo *wetland* é denominado para definir sistemas naturais que são parciais ou totalmente inundados durante o ano. Os alagados naturais são conhecidos como as várzeas dos rios, os igapós na Amazônia, os banhados, os pântanos, as formações lacustres de baixa profundidade, as grandes ou pequenas áreas com lençol freático muito alto, porém, nem sempre com afloramento superficial, os manguezais, entre outros (CAMPOS et al., 2002 apud TONIANATO, 2005).

*Wetlands* naturais são áreas de transição entre um sistema terrestre e um aquático, são conhecidos como terras úmidas, brejos, várzeas, pântanos, manguezais ou lagos rasos. Esse sistema se destaca entre os processos de autodepuração por permanecerem úmidas durante

parte ou por todo o ano, e assim desenvolvem uma vegetação adaptada à vida em solos alagados. Nesse sistema a água, o solo e os vegetais formam um ecossistema equilibrado, que degrada a matéria orgânica, e recicla os nutrientes melhorando a qualidade da água (ANJOS, 2003, apud POÇAS, 2015). Na Figura 01 é apresentada uma foto de um exemplo de *wetland* natural.

Figura 01 – Foto de uma *wetland* Natural



Fonte: BUENO (2013)

Segundo ZANELA (2008, apud ORMONDE, 2012) os *wetlands* construídos são um sistema alagado ou saturado, de matriz solo, planta e micro-organismos, utilizados para o controle de poluição ou tratamento de efluentes. São sistemas controlados que simulam e aceleram as condições naturais encontradas nos terrenos alagados naturais.

O sistema de *wetlands* construídas é desenvolvido para destacar algumas características das *wetlands* naturais aumentando a capacidade de tratamento de alguns compostos das águas residuárias. Podem ser desenvolvidas a partir de uma variedade de modelos hidrológicos. (PAOLI, 2010). A Figura 02 apresenta fotos de exemplos de *wetlands* construídas.

O princípio de tratamento em *wetlands*, sejam naturais ou construídos, se baseia na interação entre os componentes solo, água, planta e ar, e envolve fenômenos físicos, químicos e biológicos. O processo físico envolve a sedimentação e a filtração das partículas em suspensão, e é responsável pela redução da DBO. O processo químico envolve a adsorção, aglutinação e a precipitação, que devido a esses processos há a remoção do fósforo e metais

pesados. Pelo processo biológico os micro-organismos degradam a matéria orgânica, e são responsáveis pela nitrificação em zonas aeróbias e desnitrificação em zonas anaeróbias (WENDLAND & CHIARAWATCHAI, 2006, apud ORMONDE, 2012).

Figura 02 – Foto de uma *wetland* construída



Fonte: AUTOR (2017)

Segundo PAOLI (2010) as principais vantagens das *Wetlands* Construídas são:

- Possuem um custo baixo para se construir e operar;
- Possuem fácil manutenção;
- Oferecem tratamento eficaz e seguro de águas residuárias;
- São tolerantes a variações hidráulicas e de cargas de contaminantes;
- Oferecem benefícios indiretos, como área verde, “habitat's” para a vida selvagem e potencial de promoção da educação ambiental.

Ainda segundo PAOLI (2010) algumas desvantagens presentes nas *Wetlands* Construídas são:

- Precisam de uma grande área para construção;
- Há costumeiramente imprecisões nos critérios de projeto e operação;
- Possuem uma complexidade biológica e hidrológica no sistema e geralmente não se tem muito conhecimento sobre a dinâmica dos processos de tratamento;
- Os custos elevados de alguns materiais de enchimento;

- Há possibilidade de problemas com pragas nas *wetlands* do tipo superficiais.

### 3.1.3. Tipos De *Wetlands* Construídas

As *wetlands* construídas são classificadas de acordo com a sua forma de disposição, ou seja, com o fluxo adotado. Os tipos básicos são:

- *Wetlands* construídas de fluxo superficial horizontal – WETCFS;
- *Wetlands* construídas de fluxo subsuperficial horizontal – WETCFSS;
- *Wetlands* construídas de fluxo vertical – WETCFV.

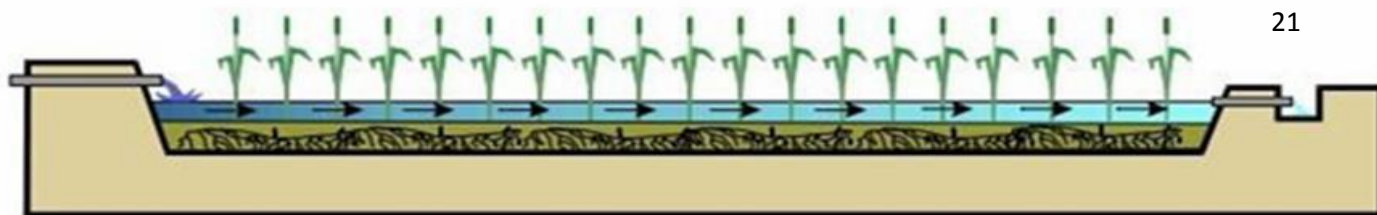
#### 3.1.3.1. *Wetlands* construídas de fluxo superficial (WETCFS)

Segundo USEPA (2000, apud POÇAS, 2015) as *wetlands* de fluxo superficial apresentam uma maior eficácia na remoção da matéria orgânica e dos sólidos suspensos, devido a possuir uma alta eficiência hidráulica, através da baixa velocidade de fluxo e alto tempo de residência hidráulica). Porém, no sistema em questão pode ocorrer proliferação de mosquitos e produção de odor, pois o efluente flui acima da superfície do meio filtrante, passando pelos caules e folhas da vegetação, porém o mesmo fato faz com que haja uma maior introdução de oxigênio e também favorece a exposição aos raios ultravioletas, havendo assim uma maior inativação de patógenos (ZANELLA, 2008, apud ORMONDE, 2012).

São utilizadas macrófitas do tipo emergente, flutuante livre, flutuante fixa, submersa livre e submersa fixa, geralmente empregadas em solos com baixa permeabilidade e terrenos com declividade reduzida. A água residuária, ao passar pelo sistema de WFS, é tratada através dos processos de sedimentação, filtração, oxidação, redução, adsorção e precipitação (KADLEC e WALLACE, 2008, apud PAOLI, 2010).

A aplicação mais comum dessa tipologia é no tratamento avançado de efluentes secundários ou terciários, oriundos, por exemplo, de lagoas, filtros biológicos percoladores, lodos ativados, entre outros (USEPA, 2000, apud PAOLI, 2010). Na Figura 03 é apresentado o esquema de tratamento de fluxo superficial.

Figura 03: Esquema de um sistema de fluxo superficial



21

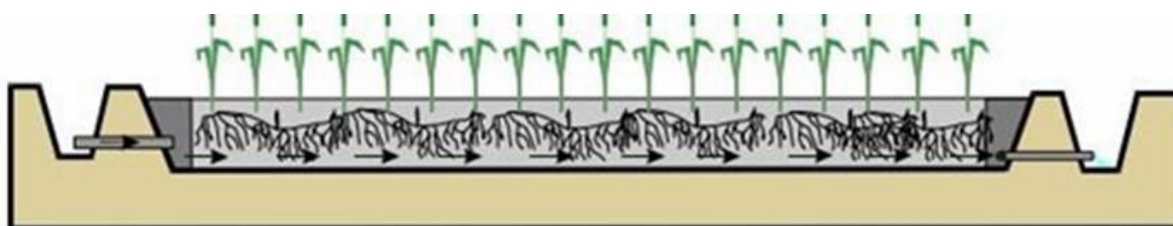
Fonte: SALATI (1998)

### 3.1.3.2. *Wetlands* construídas de fluxo subsuperficial (WETCFSS)

O sistema de fluxo horizontal subsuperficial proposto por Siedel na década de 1960 teve uma melhora proposta por Reinhold Kickuth, na década de 1970, sendo bastante difundido na Europa nas décadas seguintes (VYMAZAL, 2005 apud ORMONDE, 2012).

De acordo com USEPA (2000, apud POÇAS 2015) o sistema de fluxo subsuperficial possui filtros lentos horizontais, em que o resíduo líquido escoar por gravidade através da brita ou areia, que age como suporte para que as raízes das plantas se desenvolvam. O efluente é inserido na zona de entrada e flui até a zona de saída impulsionada por uma inclinação de fundo definida no projeto. Na Figura 04 é apresentado o esquema de tratamento de fluxo subsuperficial.

Figura 04: Esquema de um sistema de fluxo subsuperficial



Fonte: SALATI (1998)

Segundo PROSAB (2009, apud POÇAS 2015), as *wetlands* de fluxo subsuperficial são apropriadas para receber efluentes de tanques sépticos e reatores anaeróbios, e deve haver cuidados especiais no caso de efluentes de lagoas de estabilização, devido a presença de algas.

PLATZER et al (2007 apud ORMONDE 2012) disse que a principal desvantagem desse sistema é o fato dele se limitar ao tratamento de efluentes com pouca matéria orgânica, como águas cinzas por exemplo. Esse sistema é bastante utilizado em tratamento secundário de esgoto em pequenas comunidades, em locais como Estados Unidos, Austrália, África do Sul e até na Europa (KNIGHT e WALLACE, 2004, apud POÇAS, 2015).

### 3.1.3.3. *Wetlands* construídas de fluxo vertical (WETCFV)

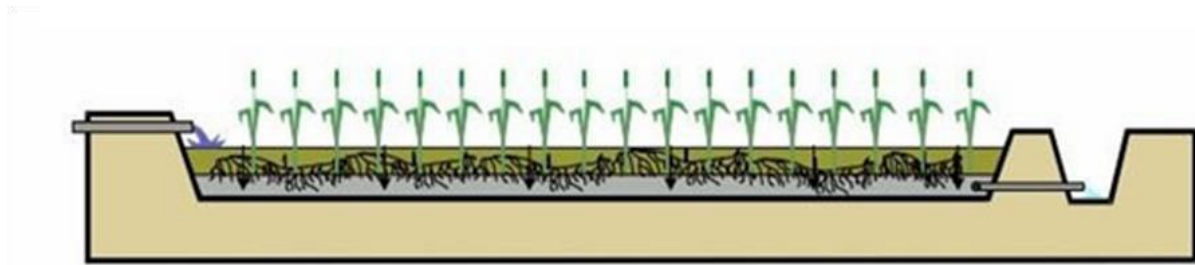
Há muitas variações de *wetlands* verticais. O tipo mais convencional, que é bastante utilizado na Europa, equivale a aplicação de pulsos do efluente no sistema na forma de bateladas e a percolação no leito de areia ou pedras, plantado com macrófitas emergentes (PAOLI, 2010).

De acordo com VYMAZAL (2005, apud POÇAS 2015) as *wetlands* construídas de fluxo vertical possuem filtros de escoamento vertical intermitente, ocupados com brita ou areia, onde o nível d'água permanece abaixo do meio suporte, impedindo o contato direto de pessoas e animais, além de evitar a proliferação de insetos e o mau cheiro. Nessa tipologia, em que o fluxo não é contínuo, não há necessidade de tratamento primário, sendo usual a aplicação de esgoto bruto oriundo apenas de tratamento preliminar (USEPA, 2000 apud PAOLI, 2010).

Normalmente, utilizam-se mais de uma *wetland* em paralelo, sendo que uma delas recebe a batelada enquanto as outras estão em repouso, o que possibilita a ocorrência da digestão e secagem do lodo na superfície e a manutenção das condições aeróbias da *wetland*. (PROSAB, 2009 apud POÇAS, 2015).

A principal vantagem da *wetland* construída de fluxo vertical é a distribuição de esgoto bruto em uma área maior de entrada e o uso de volume de filtro mais eficiente, ocasionando a necessidade de área muito menor. (PLATZER et al.,2007 apud ORMONDE, 2012). Na Figura 05 é apresentado o esquema de tratamento de fluxo vertical.

Figura 05: Esquema de um sistema de fluxo vertical



Fonte: SALATI (1998)

## 3.14. Materiais De Enchimento

### 3.1.4.1. Pelotas de argila expandida

A argila expandida é o produto obtido por aquecimento de alguns tipos de argila na temperatura em torno de 1200°C, ao ser aquecida a essa temperatura uma parte dos constituintes do material se funde gerando uma massa viscosa, enquanto a outra parte se decompõe quimicamente liberando gases que são incorporados por esta massa sintetizada, expandindo-a em até sete vezes o seu volume inicial (MORAVIA et al, 2006).

No Brasil a produção de argila expandida é realizada, principalmente, para atender a indústria têxtil, a jardinagem e o paisagismo. Porém com o avanço da tecnologia de concretos e dos estudos e pesquisas em diversas universidades, a demanda do material no mercado da construção civil vem aumentando nos últimos anos. Ela é produzida no Brasil pelo processo de fornos rotativos, existindo dois tipos de argila expandida que podem ser utilizadas como agregados graúdos e um terceiro utilizado como agregado miúdo. A argila expandida 2215 (Figura06) apresenta dimensões dos grãos entre 15 e 22 mm, enquanto a argila expandida 1506 (Figura 07), tem grãos com dimensões entre 6 e 15 mm, expandida 0500 (Figura 08), tem grãos com dimensões entre 0 e 5 mm (MAYCÁ et al, 2009).

Figura 06: Pelotas de argila Expandida tipo 2215



FONTE: Extraída de <http://gramados.net/Loja/produto/argila-expandida-saco-50-lt/>

Figura 07: Pelotas de argila Expandida tipo 1506



FONTE: Extraída de <http://gramados.net/Loja/produto/argila-expandida-saco-50-lt/>

Figura 08: Argila Expandida tipo 0500



FONTE: Extraída de [https://www.aecweb.com.br/prod/d/argila-expandida-cinexpan-tipo-0500\\_2508\\_39970](https://www.aecweb.com.br/prod/d/argila-expandida-cinexpan-tipo-0500_2508_39970)

#### 3.1.4.2. Resíduos de construção civil (RCC) de natureza cerâmica

A principal matéria prima para a produção de blocos e telhas é a argila. As indústrias de cerâmica empregam duas ou mais argilas para a obtenção de uma massa com as características desejadas (BASTOS, 2003).

A fabricação de tijolos, blocos e telhas cerâmicas pouco evoluiu com o tempo, e o processo consiste basicamente a ser artesanal, com o uso apenas de equipamentos para reduzir o custo com mão de obra (MINEROPAR, 1997 apud DELDUQUE, 2014).

Na produção da cerâmica, os processos são tão variados quanto os produtos, desde os mais rudimentares até os automatizados. Para a produção de tijolos, blocos e telhas cerâmicas, três etapas fundamentais se tornam presentes: preparação das matérias-primas, conformação e processamento térmico (IKEDA, 1980 apud DELDUQUE, 2014).

Cada produto cerâmico requer um tipo próprio de matéria-prima, portanto, antes de qualquer coisa se deve proceder à escolha da jazida. O teor de argila, a composição granulométrica, a profundidade da barreira, a umidade e outros fatores influem no resultado do produto final (BASTOS, 2003).

O objetivo da preparação da argila e da massa é obter, sempre, uma mistura homogênea, com características constantes e umidade adequada para o determinado método de conformação utilizado (GOODSON, 1962 apud BASTOS, 2003).

Na etapa de conformação a argila toma a forma requerida, através da extrusão, corte e prensagem. Na fase de processamento térmico o produto cerâmico sofre as reações e transformações químicas e físicas necessárias para adquirir as propriedades necessárias. O aquecimento do produto é realizado em fornos, que existem em vários modelos e são



classificados em 3 tipos: Forno intermitente, Forno contínuo de câmara ou semicontínuo e Forno contínuo tipo túnel.

#### 3.1.4.3. Resíduos de construção civil (RCC) de natureza concretícia

A pedra britada, ou simplesmente brita como é normalmente chamada, é um dos bens minerais mais abundantes no território nacional, responsável por uma produção de 135 milhões de toneladas em 2005 (PINHO, 2007). Brita é um termo utilizado para denominar fragmentos de rochas duras, originários de processos de beneficiamento (britagem e peneiramento) de blocos maiores, extraídos de maciços rochosos (granito, gnaiss, basalto, calcário) com auxílio de explosivos (QUARESMA, 2009).

Os tipos de brita usualmente comercializados são: a brita corrida que é formada por um conjunto de pedra britada, pedrisco e pó de pedra, sem graduação definida, obtido diretamente do britador, sem o peneiramento; a brita “0” que seria a brita de menor graduação o mesmo que o pedrisco grosso (Figura 09); brita “1/2” que seria de dimensão nominal de meia polegada, em torno de 6,35 milímetros (Figura 10); rachão ou gabão que seria uma pedra britada de dimensão nominal superior a 100 mm (Figura 11); areia de brita que seria o mesmo que areia artificial, obtida através da cominuição de rocha respeitando as dimensões nominais da areia; e pedrisco misto que seria os pedriscos grosso, médio e fino sem graduação definida (PINHO, 2007).

Figura 09: Brita 0



Fonte: PINHO (2007)

Figura 10: Brita 1/2



Fonte: PINHO (2007)

Figura 11: Rachão ou Gabão



Fonte: PINHO (2007)

### 3.1.5. Parâmetros De Controle Da Eficiência Das *Wetlands*

#### 3.1.5.1. Demanda bioquímica de oxigênio

A Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) é o quanto de oxigênio requer para oxidar bioquimicamente os compostos orgânicos biodegradáveis numa massa líquida. O teste de DBO é realizado em um período de cinco dias. Esse valor é denominado  $DBO_{5,20}$ , que corresponde ao oxigênio consumido na degradação da matéria orgânica em cinco dias, a uma temperatura de 20°C.

As vantagens que podem ser destacadas da análise de DBO são (VON SPERLING, 1995):

- Indicação aproximada da fração biodegradável do despejo;
- Indicação da taxa de degradação do despejo;
- Indicação da taxa de consumo de oxigênio em função do tempo;

Suas principais limitações são:

- Pode-se encontrar baixos valores de  $DBO_5$ , caso os microrganismos responsáveis pela decomposição não estejam acostumados com o despejo;
- Os metais pesados e outras substâncias tóxicas podem inibir ou matar os microrganismos;
- Tempo de 5 dias para obtenção dos resultados, o que não se torna eficiente no controle operacional de uma estação de tratamento.

De acordo com a Resolução CONAMA 430 (2011) a  $DBO_{5,20}$  deve atingir um valor máximo de 120mg/L para que o efluente possa ser lançado direto nos corpos hídricos. Os valores de DBO são variáveis de acordo com o local, o clima e as atividades desenvolvidas na cidade.

Vale salientar, conforme a CETESB que o teste da DBO é um procedimento empírico de valor limitado visto que as condições padronizadas de laboratório não são representativas de todas as condições que ocorrem na natureza, não sendo incluídas por exemplo a luminosidade e a movimentação da água. Existem ainda muitos outros fatores interferentes cujas ações não podem ser controladas.

#### 3.1.5.2. Demanda química de oxigênio

A DQO é a quantidade de oxigênio necessário à oxidação química dos poluentes presentes no efluente, biodegradável ou não. Devido à facilidade da sua determinação, a DQO se tornou um parâmetro muito difundido (POÇAS, 2015).

Ao comparar vê-se que a DQO promove a oxidação química da matéria orgânica por meio de um forte oxidante, enquanto a DBO o faz inteiramente pela ação de microrganismos.

As vantagens que podem ser destacadas da análise de DQO são (VON SPERLING, 1995):

- Teste rápido, tendo de 2 a 3h de duração;
- Indicação da quantidade de oxigênio requerida para estabilização da matéria orgânica;
- Ao contrário da DBO, não é afetado pela nitrificação.

Suas principais limitações são:

- Tanto a fração biodegradável como a inerte são oxidadas, superestimando o oxigênio a ser consumido no tratamento biológico dos despejos;
- Não fornece informações sobre a taxa de consumo da matéria orgânica ao longo do tempo;
- Alguns tipos de constituintes inorgânicos podem ser oxidados e interferir no resultado.

A determinação da DQO é muito mais simples e rápida que a DBO, devido a isso a determinação da DQO cresce em importância, principalmente no caso de controles de efluentes ou de estações de tratamento. Pois por ser uma oxidação química, na DQO todo o material existente no efluente é oxidado. Dessa forma os resultados de DQO são maiores ou iguais aos resultados da DBO.

#### 3.1.5.3. Nitrogênio

Segundo METCALF & EDDY (2003) o nitrogênio é um nutriente bioestimulante, considerado como elemento indispensável para o crescimento de microrganismos no meio, aliado ao fósforo. Por ser um dos principais elementos na síntese proteica, todos os dados e análises são de fundamentais para determinar se o efluente é passível de tratamento biológico.

A Resolução CONAMA 430 não faz restrições para efluentes lançados por sistemas de tratamento de esgoto sanitário, em relação a quantidade de nitrogênio amoniacal. O limite de 20 mg/L é exigido para as indústrias e demais setores que lançam efluentes nos corpos hídricos. De acordo com PAGANINI e BOCCHIGLIERI (2011, apud POÇAS, 2015), a limitação do nitrogênio amoniacal para sistemas de tratamento de esgoto sanitário acarretaria na necessidade de implantação generalizada de tratamento terciário.

Nas lagoas de estabilização a remoção de nitrogênio pode ocorrer de diversas maneiras: volatilização da amônia, assimilação da amônia pelas algas, assimilação dos nitratos pelas algas, nitrificação-desnitrificação, sedimentação do nitrogênio orgânico particulado. (LOPES, 2015).

#### 4. METODOLOGIA

##### 4.1. CARACTERIZAÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO MANGABEIRA

O presente trabalho analisou amostras do efluente da Estação de Tratamento de Esgotos de Mangabeira, pertencente a CAGEPA (Companhia de Água e Esgotos da Paraíba), e é parte do sistema de esgotamento sanitário da cidade de João Pessoa, localizada no bairro de mesmo nome. A ETE é abastecida com esgoto predominantemente doméstico, coletado dos bairros de Mangabeira, Valentina de Figueiredo, Ernesto Geisel, Gramame, Grotão, João Paulo II, Funcionários I e II, Jardim São Paulo, Bancários e Monsenhor Magno e tem capacidade de tratamento de uma população de 99.350 habitantes. De acordo com BARACUHY (2006 apud OLIVEIRA JUNIOR, 2017), em 2006 a vazão média de esgoto que chegava na unidade era de 35,52L/s. Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** pode-se observar a vista em planta da região de lagoas da estação e a **Erro! Fonte de referência não encontrada.** ilustra o esquema geral do sistema.

Figura 12 – Vista em planta da ETE Mangabeira



Fonte: OLIVEIRA JUNIOR (2017)

LA – Lagoa Anaeróbia

LF – Lagoa Facultativa

Figura 13 - Vista geral da ETE Mangabeira



Fonte: FREITAS (2006)

A ETE de Mangabeira foi, inicialmente, projetada para operar com quatro Módulos de tratamento, comportando cada Módulo três reatores em série, sendo o primeiro uma lagoa aerada com mistura completa, seguida por uma aerada facultativa e por último uma de maturação. A CAGEPA decidiu eliminar os aeradores, em virtude da dificuldade de operação e manutenção dos equipamentos eletro-mecânicos, e transformar estes Módulos em séries com duas lagoas anaeróbias (1 e 2) seguidas de uma lagoa facultativa secundária.

O sistema de alimentação é formado pelos emissários de recalque, caixa de distribuição, seguido da tubulação que despeja o efluente nas lagoas de cada módulo. Posteriormente, o efluente é direcionado para o desarenador, dividido em dois canais paralelos. Os efluentes gerados em cada módulo são reunidos e encaminhados para a zona de mistura para posterior lançamento no rio Cuiá, também conhecido por Paratibe, que desemboca no Oceano Atlântico (próximo à praia de Jacarapé).

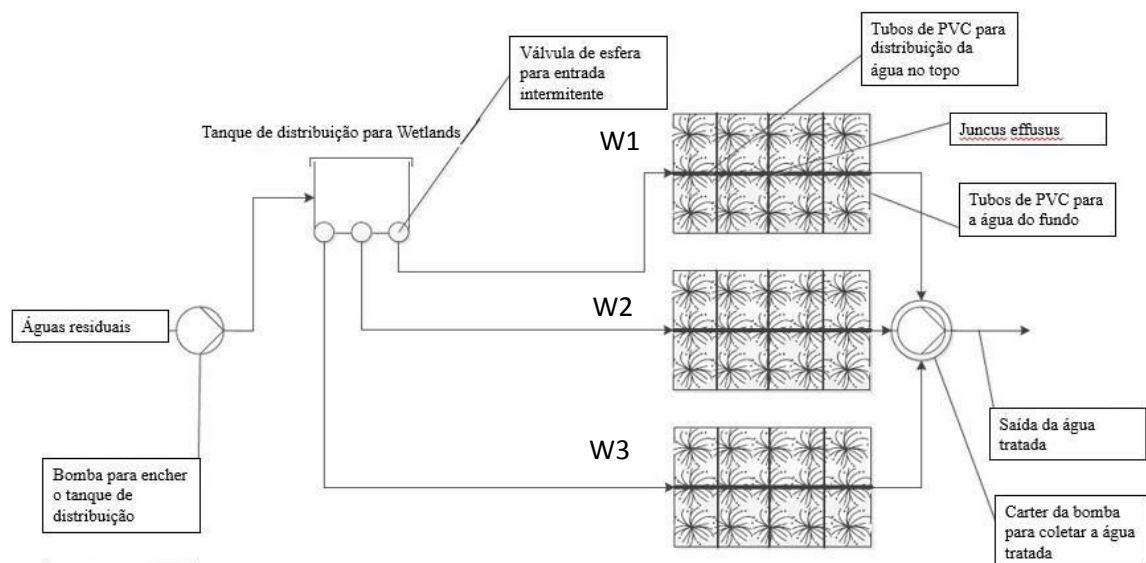
#### 4.2. CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA *WETLANDS*

A construção das *wetlands* na ETE Mangabeira foi projetada conforme o esboço mostrado na Figura 14. As águas residuais são bombeadas para um tanque de distribuição de pé sobre um quadro de madeira para garantir a alimentação das *wetlands* por gravidade. O tanque tem uma capacidade máxima de 310 litros. Na parte inferior do tanque foram instaladas três válvulas de esfera, uma para cada *wetland*. Controladas por um sistema de controle, as válvulas de esfera realizam a rotação intermitente e semanal do fluxo. Os parâmetros de concepção utilizados estão listados no quadro 01.

Quadro 01 – Parâmetros de projeto

PARÂMETRO	VALOR
Número de áreas paralelas	3
ciclo de rotação	1 semana de rotação 1 semana de descanso
Tipo de alimentação	A alimentação é realizada de forma descontínua, várias vezes por dia ou intermitente

Fonte: KOHLGRUBER (2016)

Figura 14 - Esboço da construção de *Wetlands* na ETE Mangabeira

Fonte: Adaptado de KOHLGRUBER (2016)

A capacidade da *Wetland* está adequada para tratar as águas residuais de 6 pessoas, no total 900 L por dia. A área ocupada pelas três *Wetlands* é de 7,5 m<sup>2</sup>, o que corresponde a 2,5 m<sup>2</sup> por *Wetland*, possuindo as medidas de 2,5mx1m. Sua profundidade é de 140 cm, incluindo 120 cm para o material filtrante e 20 cm para formação da camada de lodo e superfície de água livre durante o período de alimentação. Cada *Wetland* foi preenchida com um material de enchimento diferente, os quais foram pelotas fragmentadas de argila expandida (Figura 15) na *Wetland* 01, RCC de natureza cerâmica (Figura 16) na *Wetland* 02, e RCC de natureza concretícia (Figura 17) na *Wetland* 03.

Figura 15 – Pelotas fragmentadas de Argila expandida utilizada



Fonte: AUTOR (2017)

Figura 16 – RCC de natureza cerâmica utilizado



Fonte: AUTOR (2017)

Figura 17 – RCC de natureza concretícia utilizado



Fonte: AUTOR (2017)



Utilizou-se uma manta PEAD para evitar que as águas residuais entrem em contato com as águas subterrâneas. Para as *wetlands* em questão, um revestimento de lona de PVC foi colocado e fixado com cascalho, conforme mostrado em Figura 18.

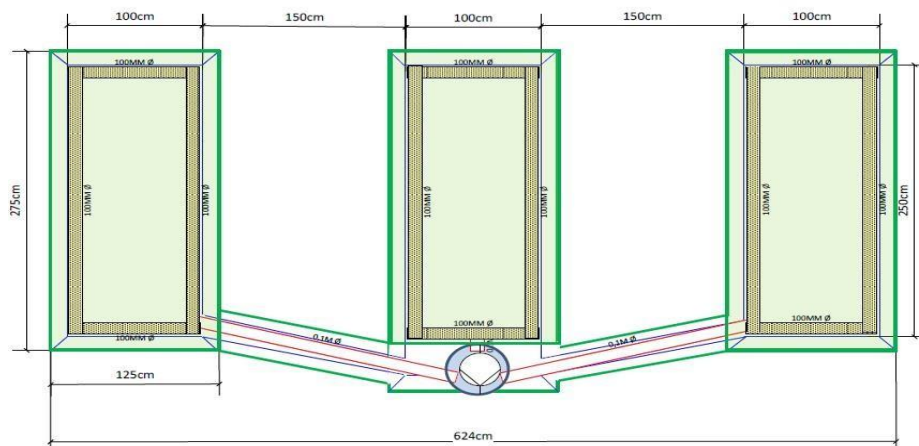
Figura 18 - forro da Wetland instalado e fixado



Fonte: KOHLGRUBER (2016)

Para usar material fácil disponível e de baixo custo, foi decidido usar barris de plástico (120 L) para acomodar a bomba. Para obter a altura solicitada de 1,60 m (o cárter da bomba deve estar abaixo do nível das *Wetlands*) dois barris foram colocados juntos. Os tubos de PVC não perfurados para a evacuação da água tratada foram fixados no barril e no leito da *Wetland*, as conexões foram apertadas usando silicone. A figura 19 ilustra a planta do sistema.

Figura 19 – Planta do sistema *Wetland*



Fonte: KOHLGRUBER (2016)

Para recolher a água no fundo da *Wetland* foi construída uma estrutura de tubos de drenagem perfurados e colocado no fundo da *Wetland*, como mostra a figura 20. O sistema para cada *Wetland* compreende um anel no fundo conectado ao tubo de evacuação, quatro drenos de ventilação localizados nos cantos e um segundo anel no meio da zona úmida para levar ainda mais ar e garantir condições aeróbias. As conexões entre os tubos de drenagem perfurados foram feitas simplesmente juntando os tubos, pois não é necessário fazer as conexões estanques.

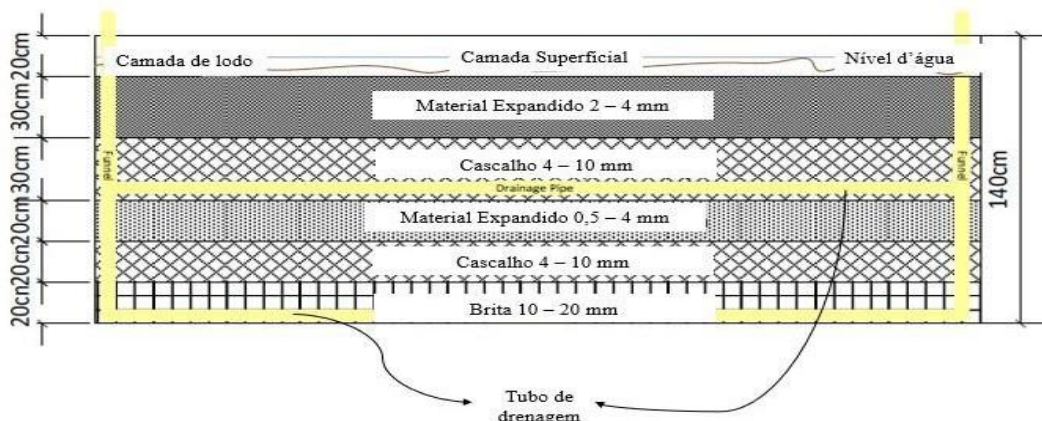
Figura 20 - Drenos e anel inferior de tubos de drenagem



Fonte: KOHLGRUBER (2016)

O sistema francês compacto é caracterizado por diferentes camadas de substrato que melhoram o tratamento de águas residuais. As camadas de suporte que estão localizadas em torno da drenagem foram preenchidas com cascalho, como ilustra a figura 21. Na figura 22 pode-se observar o sistema em funcionamento

Figura 21- seção transversal da *Wetland*



Fonte: Adaptado de KOHLGRUBER (2016)

Figura 22 – Sistema *Wetland* em funcionamento



Fonte: AUTOR (2017)

#### 4.3. AMOSTRAGEM

As amostras de efluente coletadas passavam apenas por um tratamento preliminar, composto por um sistema de grades de seção  $3/8 \times 1/2''$  (0,95 x 3,81cm) e espaçamento de  $1 1/4''$  (3,18cm) representado na figura 23, antes de serem destinadas para o sistema de *Wetlands*.

Figura 23 – Tratamento preliminar



Fonte: AUTOR (2017)

O transporte das amostras foi realizado em garrafas PET limpas, com capacidade para 2 litros e eram destinadas ao Laboratório de Tecnologia Química da Universidade Federal da Paraíba – UFPB – Campus João Pessoa, onde foram realizadas as análises.

As variáveis em estudo foram Temperatura (T), pH, Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Nitrogênio amoniacal. A tabela 01 ilustra as datas das coletas.

Quadro 02 – Datas das coletas

<b>Data</b>	<b>Wetland</b>	<b>Data</b>	<b>Wetland</b>
<b>04/mai</b>	<b>W1</b>	<b>19/jul</b>	<b>W1</b>
<b>11/mai</b>	<b>W2</b>	<b>27/jul</b>	<b>W1</b>
<b>18/mai</b>	<b>W3</b>	<b>02/ago</b>	<b>W2</b>
<b>25/mai</b>	<b>W1</b>	<b>31/ago</b>	<b>W2</b>
<b>01/jun</b>	<b>W2</b>	<b>06/set</b>	<b>W1</b>
<b>08/jun</b>	<b>W3</b>	<b>14/set</b>	<b>W3</b>
<b>14/jun</b>	<b>W3</b>	<b>21/set</b>	<b>W2</b>
<b>22/jun</b>	<b>W2</b>	<b>28/set</b>	<b>W3</b>
<b>29/jun</b>	<b>W3</b>	<b>05/out</b>	<b>W3</b>
<b>13/jul</b>	<b>W2</b>	<b>11/out</b>	<b>W2</b>

Fonte: AUTOR (2017)

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS INDICADORES

A tabela 01 apresenta os valores estatísticos das amostras coletadas da *Wetlands* preenchida com argila expandida (W1), da *Wetland* preenchida com RCC de natureza cerâmica (W2), da *Wetland* preenchida com RCC de natureza concretícia (W3) e do Esgoto Bruto (EB).

Tabela 01 - Análise estatística dos indicadores das amostras

Variável	N	Amostra	Média	Desvio Padrão	Máximo	Mínimo
pH	5	EB	7,39	1,66	7,77	7
	8	W1	7,14	0,37	7,59	6,68
	6	W2	6,99	0,29	7,31	6,62
	20	W3	7,65	0,56	8,57	7,14
Temperatura (°C)	5	EB	24,93	5,75	27,8	21,8
	8	W1	24,04	1,52	26,40	21,80
	6	W2	24,84	1,24	26,50	22,50
	20	W3	25,63	1,57	27,80	23,50
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	3	EB	329,89	159,66	716	45
	8	W1	66,67	13,65	79,00	52,00
	4	W2	19,88	18,11	49,00	0,00
	20	W3	38,00	12,68	54,00	23,00
DQO (mg/L)	4	EB	543,211	293,43	1190	157
	7	W1	141,50	106,91	268,00	52,00
	7	W2	83,14	34,82	137,00	47,00
	19	W3	218,71	96,11	365,00	128,00
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	5	EB	54,7	19,66	76,5	31
	8	W1	15,02	6,74	22,30	9,80
	6	W2	3,32	1,84	6,30	1,00
	20	W3	16,37	11,13	31,00	4,50

Fonte: AUTOR (2017)

Os dados apresentados acima representam as características físico-químicas e biológicas das amostras coletadas na ETE Mangabeira no período de 04 de maio de 2017 a 11 de outubro de 2017.

A tabela 02 ilustra a eficiência do sistema wetland na remoção dos parâmetros DBO, DQO e Nitrogênio Amoniacal. Percebe-se que a W2 possui um percentual de eficiência superior a W1 e W2, chegando a alcançar 94% de remoção na DBO e Nitrogênio Amoniacal.

Tabela 02 - Eficiência de remoção

Amostra	DBO	DQO	Nitrogênio amoniacal
W1	80%	49%	73%
W2	94%	86%	94%
W3	88%	58%	70%

Fonte: AUTOR (2017)

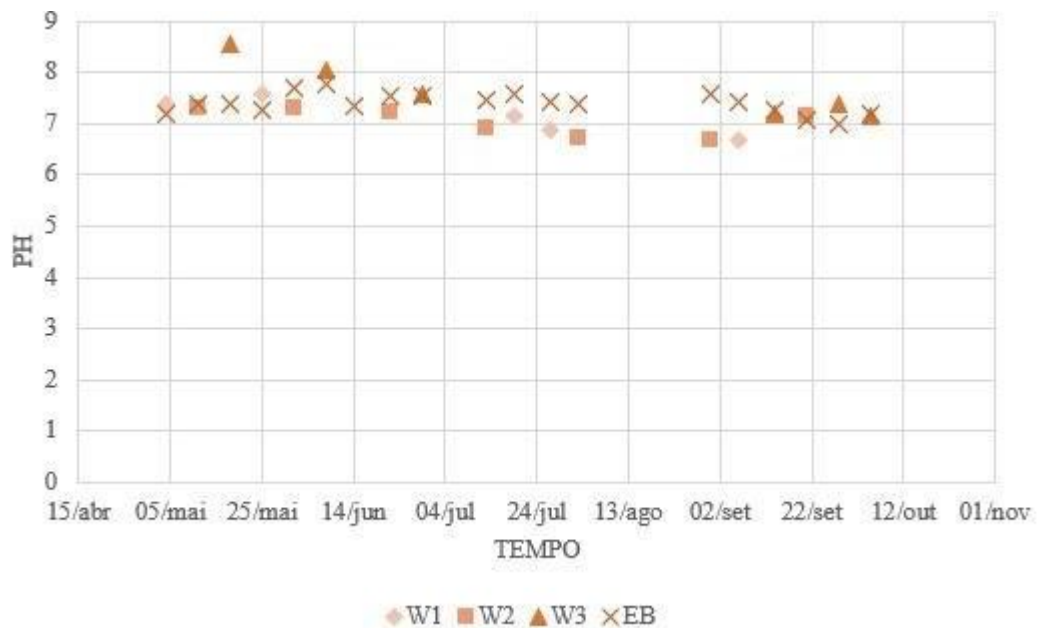
## 5.2. POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (PH)

A tabela 01 ilustra os valores médios, máximos e mínimos do pH ao longo da pesquisa para as *Wetlands* W1, W2, W3 e EB. Os valores máximos e mínimos foram, respectivamente, 7,59 e 6,68 para W1, 7,31 e 6,62 para W2, 8,57 e 7,14 para W3 e 7,77 e 7,00 para EB. Suas respectivas médias foram 7,14, 6,99, 7,65 e 7,39.

Segundo METCALF (2003 apud LOPES, 2015) o pH é um parâmetro utilizado para indicar a concentração de íons hidrogênio H<sup>+</sup>, e sua faixa ideal a existência de maior diversidade biológica é entre 6 e 9, a resolução do CONAMA 430/2011 determina por sua vez que o pH deve-se encontrar entre 5 e 9.

Observamos na figura 24 que os valores do pH das amostras duas amostras iniciais da W2, preenchida com RCC de natureza concretícia, tem valores mais elevados que as amostras seguintes, isso deve-se ao fato desse material conter restos de cimento, que é uma substância alcalina, por isso obteve valores mais elevado, e próximos do limite estabelecido pelo CONAMA. As amostras estão de acordo com a faixa do CONAMA.

Figura 24 - Valores do pH durante o período de análise



Fonte: AUTOR (2017)

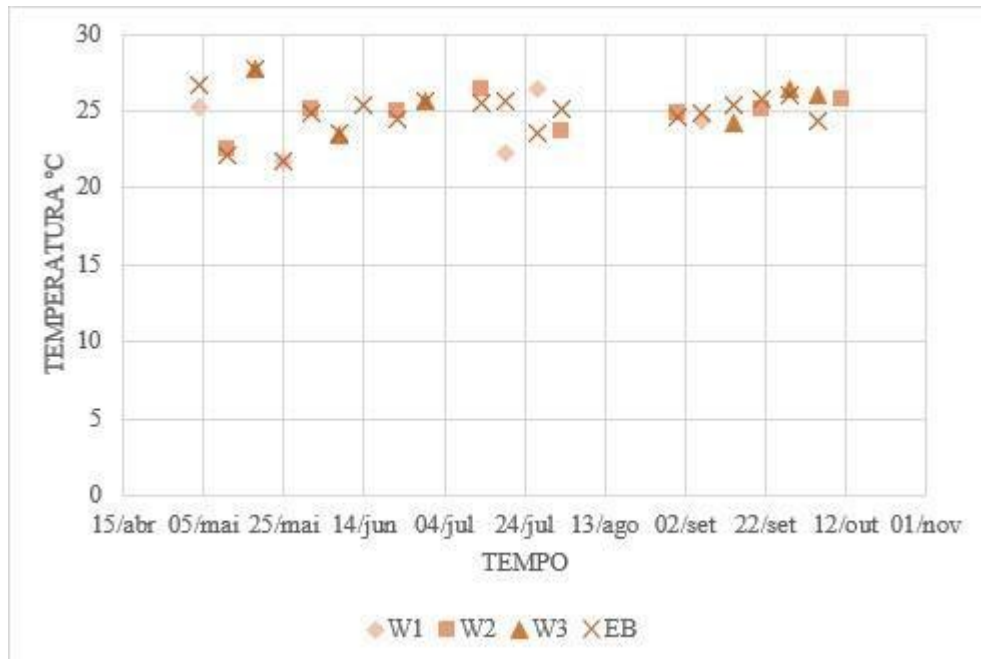
### 5.3. TEMPERATURA

A temperatura é um parâmetro que afeta diretamente as condições do ambiente e a diversidade biológica, pode ser definida como a medição da intensidade de calor. A elevação da temperatura aumenta as reações químicas e biológicas, reduz a solubilidade dos gases e eleva a taxa de transferência de gases, reduz a concentração de oxigênio dissolvido (VON SPERLING, 1996 apud LOPES, 2015).

Segundo LOPES (2015) a temperatura ótima para as atividades bacterianas ocorre entre 25 a 35 °C. De acordo com a tabela 01, a temperatura média foi de 24,04°C para a W1, 24,84°C para a W2, 25,63°C para a W3 e 24,93 para EB.

A figura 25 ilustra os valores da temperatura nas amostras durante o período de análise, observa-se que a maioria dos valores se encontram na faixa indicada acima (25 a 35°C), alguns valores encontram-se abaixo, mas deve-se ao fato de que uma época do estudo foi realizada em um período de baixas temperaturas e chuvas na região. Porém ainda assim, esses valores se mantêm na faixa média para regiões de clima tropical.

Figura 25 - Valores da temperatura durante o período de análise



Fonte: AUTOR (2017)

#### 5.4. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGÊNIO (DBO<sub>5</sub>)

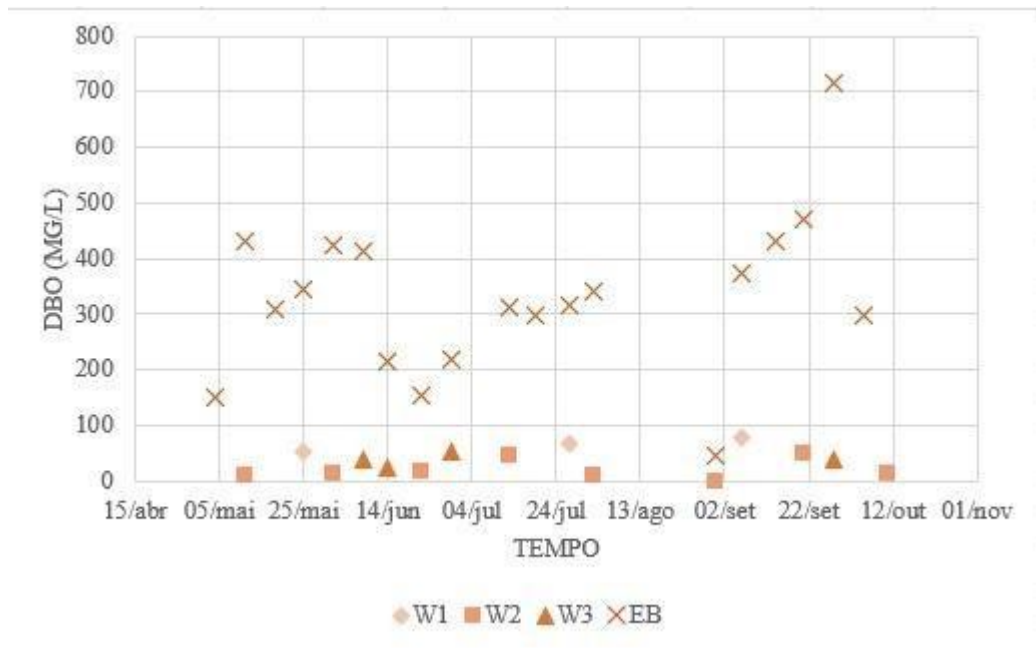
Segundo LOPES (2015) a DBO mensura a quantidade de oxigênio necessária para a oxidação bioquímica da matéria orgânica. À medida que a matéria orgânica é oxidada, os produtos desta oxidação são utilizados para criar massa celular e para manter as células.

De acordo com a Tabela 01, os valores médios obtidos para DBO<sub>5</sub> foram, 66,67 mg/L na W1, 19,88 mg/L na W2, 35,40 mg/L na W3 e 329,89 mg/L para EB, com valores máximo e mínimos de 79 mg/L e 52 mg/L para a W1, 49 mg/L e 0 mg/L para a W2, 54 mg/L, 23 mg/L para a W3 e 716 mg/L e 45 mg/L para o EB.

O CONAMA (2011) refere-se que a DBO possua no máximo 120mg/L. A Figura 26 traz os dados de DBO<sub>5</sub> ocorridos nas amostras durante o período das análises. Observa-se que os menores valores são os referentes a W2, a qual foi preenchida com RCC de natureza cerâmica. Nota-se também que as três *wetlands* em estudo obtiveram valores inferiores ao determinado pela resolução do CONAMA 430/2011.



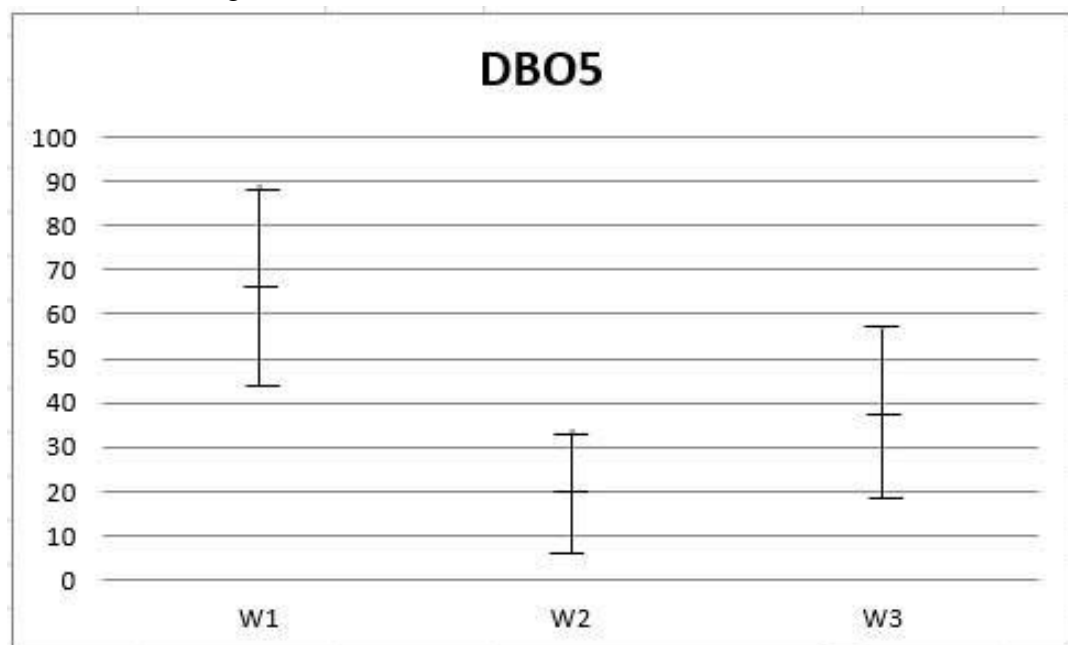
Figura 26 - Valores da DBO durante o período de análise



Fonte: AUTOR (2017)

A figura 27 ilustra a comparação entre as médias (análise de variância pelo método *gt2* com nível de significância 95%) referentes a DBO de cada *Wetland*. Os intervalos que se sobrepõem simbolizam que não houve diferença significativa entre os valores, assim, detectou-se diferença significativa entre a W2 e a W1, porém não houve diferença entre a W3 e W1, nem entre a W2 e W3.

Figura 27 - Análise estatística dos dados da DBO



Fonte: AUTOR (2017)

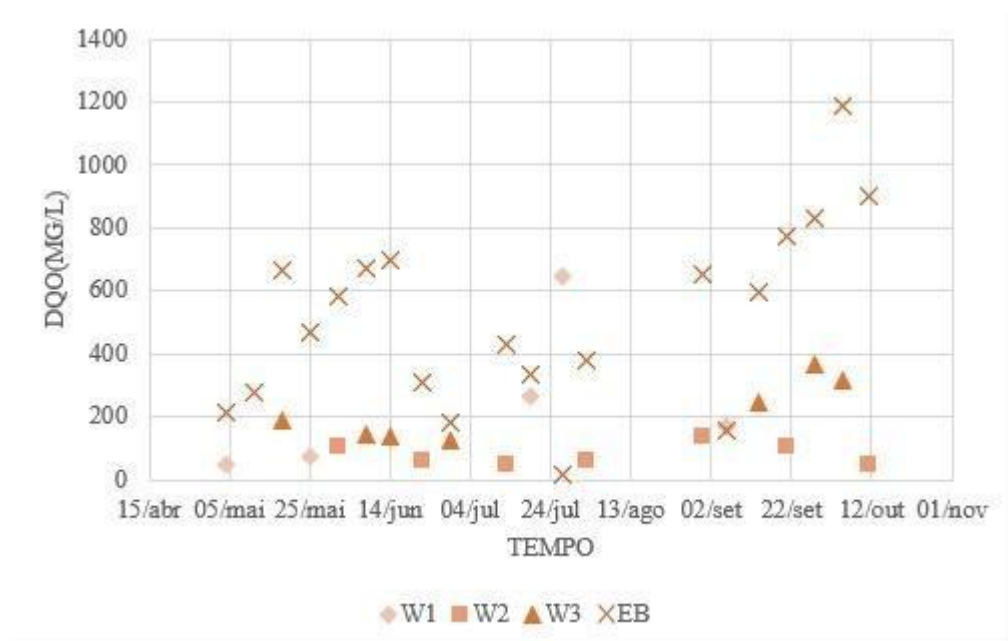
### 5.5. DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO)

Segundo METCALF e EDDY (2003 apud MELLO 2016), os esgotos sanitários são classificados para o parâmetro DQO em fraco (250 mg/L), médio (430 mg/L) e forte (800 mg/L). Nesse estudo o esgoto bruto coletado é classificado como médio, pois as concentrações de matéria orgânica expressas em termos de DQO variam de 16 mg/L a 1190 mg/L, com média de 516,85 mg/L, de acordo com dados da Tabela 01.

A figura 28 representa os valores da DQO ao longo do período de análises. Vê-se que as primeiras amostras da W1 apresentaram os valores mais baixos em relação as W2 e W3, porém nos dias que sucederam seus valores subiram, havendo um aumento significativo, chegando a 646 mg/L, na amostra do dia 27 de julho, nesse mesmo dia a amostra do EB apresentou uma resultado de 16 mg/L, esses valores podem ter sido ocasionados por algum erro durante o procedimento de análise, sendo assim, tais valores foram retirados das análises estatísticas.

A resolução do CONAMA 430/2011 não determina valores limites para o parâmetro da DQO. Porém os valores encontrados são semelhantes a valores presentes em pesquisas relacionadas ao tema.

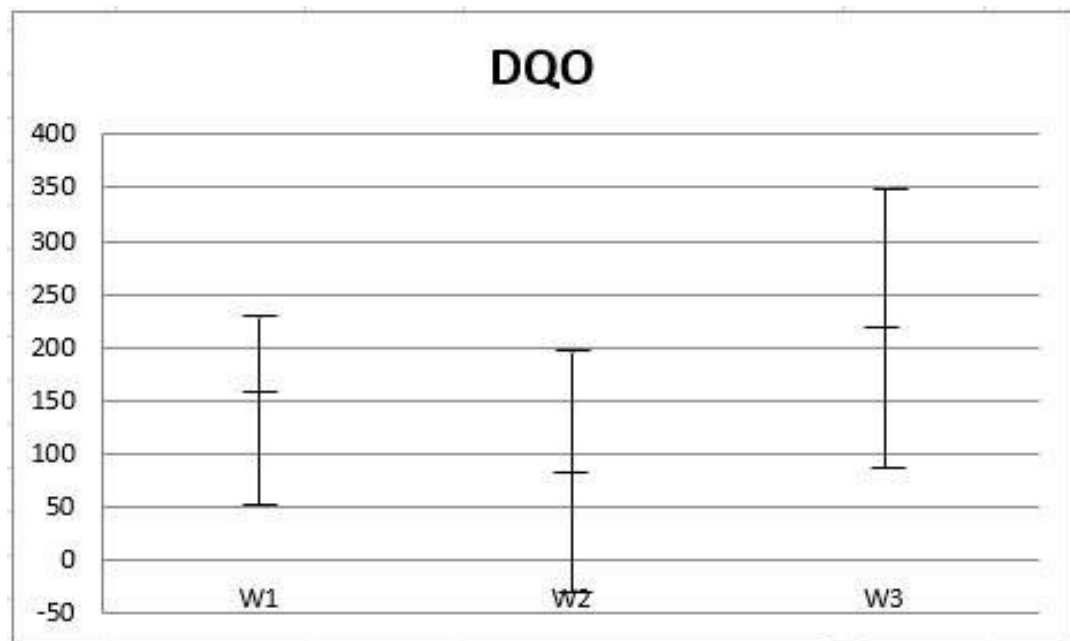
Figura 28 - Valores da DQO durante o período de análise



Fonte: AUTOR (2017)

Ao analisar o gráfico da figura 29, que ilustra a comparação entre as médias (análise de variância pelo método *gt2* com nível de significância 95%) referente a DQO nas três *Wetlands*, observa-se que não há diferença significativa entre as amostras das *wetlands*, pois todos os intervalos se sobrepõem. Ou seja, embora seus valores difiram, estatisticamente eles possuem a mesma variação. Ou seja, indefere qual material de enchimento será o escolhido para compor o sistema *wetland*, segundo o parâmetro DQO.

Figura 29 - Análise estatística dos dados da DQO



Fonte: AUTOR (2017)

## 5.6. NITROGÊNIO AMONIACAL

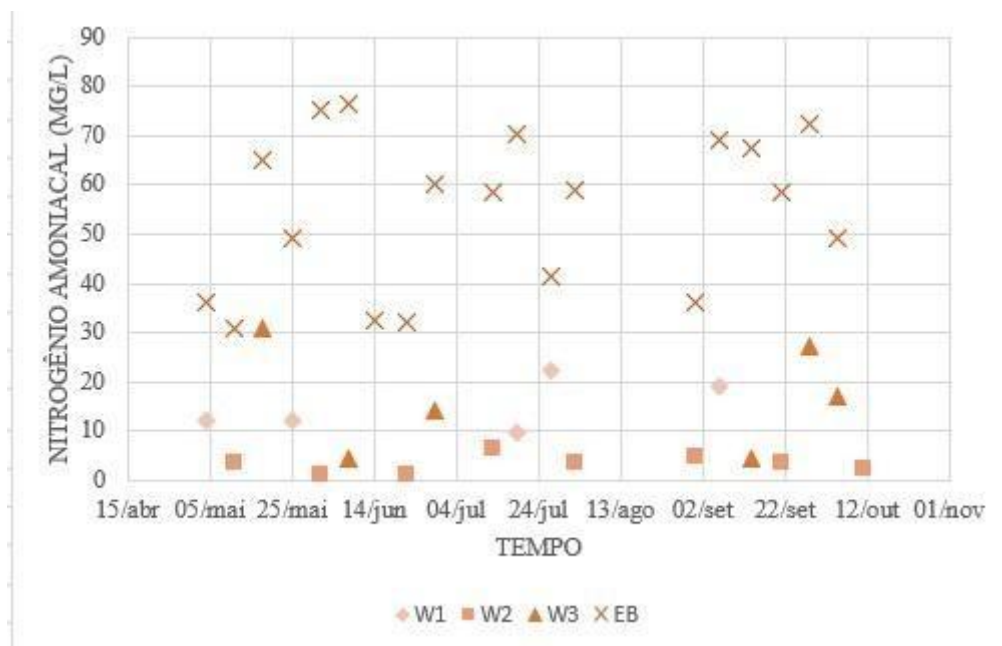
A tabela 01 apresenta os parâmetros estatísticos dos dados de nitrogênio amoniacal nas amostras. Os valores médio, máximo e mínimo de W1, W2, W3 e EB são, respectivamente, 15,02 mg/L, 22,30 mg/L e 9,80 mg/L, 3,32 mg/L, 6,30 mg/L e 1,00 mg/L, 16,37 mg/L, 31,00 mg/L e 4,5 mg/L e 54,7 mg/L, 76,5 mg/L e 31 mg/L. Na Figura 30, é possível analisar a variação de nitrogênio ao longo do período de análise.

A figura 30 mostra os valores de nitrogênio amoniacal em cada *Wetland* durante o período de análise. Observa-se que a W2 obteve valores baixos, enquanto que as W1 e W3 oscilaram, chegando a W3 a alcançar valores na faixa de 30 mg/L, que encontram-se acima do determinado pela resolução do CONAMA 430/2011 que é 20 mg/L, a W1 também atingiu o valores um pouco acima do determinado pela resolução.

Uma possível explicação para este resultado seria de que os valores de pH foram próximos à neutralidade, e com isto, a amônia existente nos esgotos não pôde ser liberada via volatilização (ABRANTES, 2009 apud MELLO, 2016).

Ainda segundo o mesmo autor, outro fator que pode justificar os valores de nitrogênio amoniacal acima do estabelecido na resolução, é a baixa transferência de oxigênio da atmosfera para o sistema alagado por meio das raízes das plantas, nas quais o oxigênio é utilizado pelas bactérias nitrificantes para oxidar o nitrogênio amoniacal durante o processo de nitrificação.

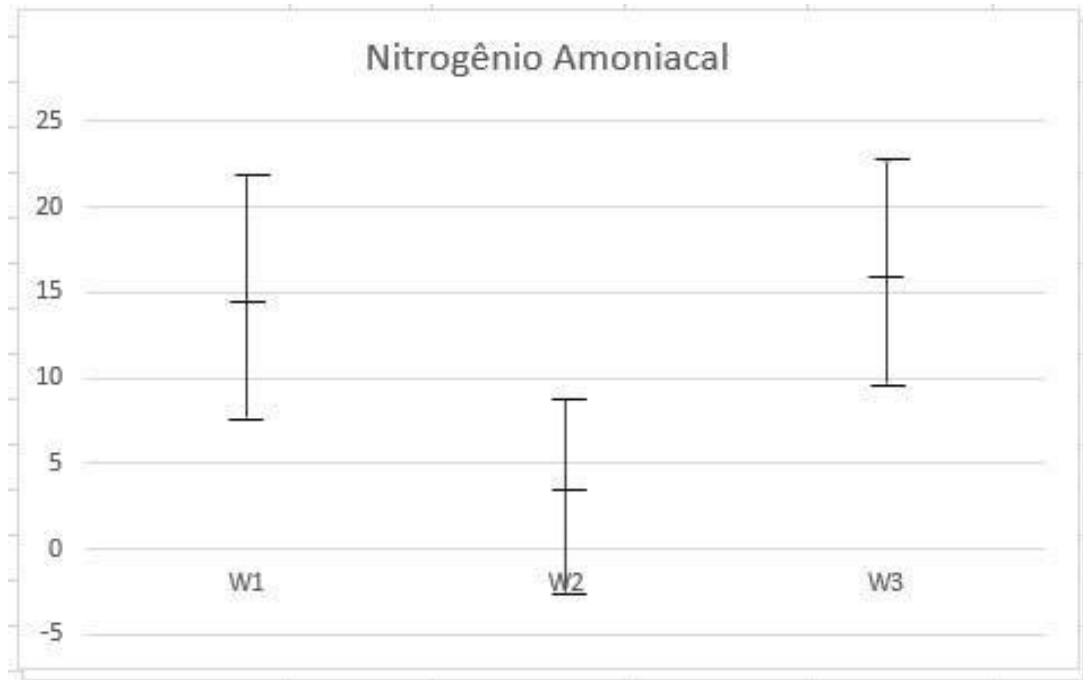
Figura 30 - Valores do Nitrogênio Amoniacal durante o período de análise



Fonte: AUTOR (2017)

A figura 31 ilustra a comparação entre as médias (análise de variância pelo método  $gt_2$  com nível de significância 95%) referentes ao Nitrogênio Amoniacal, pode-se verificar que houve uma diferença significativa em relação a W2 e a W3, enquanto que não foi detectado diferença entre as W1 e W2, nem entre a W1 e a W3, sendo assim, houve uma maior remoção do Nitrogênio Amoniacal na W2, que foi preenchida com RCC de natureza cerâmica.

Figura 31 - Análise estatística dos dados do Nitrogênio Amoniacal



Fonte: AUTOR (2017)

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema *wetland* apresentou o parâmetro DBO dentro do limite estabelecido pela resolução do CONAMA 430/2011 em todas as *Wetlands* em estudo, enquanto que em relação ao Nitrogênio Amoniacal as W1 e W3 obtiveram valores acima do determinado pela resolução CONAMA 430/2011, sobre o parâmetro DQO a resolução CONAMA 430/2011 não determina limites, porém os valores encontrados situam-se próximos a valores obtidos na literatura.

Ao compararmos o desempenho dos materiais em estudo, nota-se que o RCC de natureza cerâmica, empregue na W2, obteve valores de desempenho mais satisfatórios do que as pelotas de argila expandida, empregue na W1, e que é usualmente utilizado, e do que o RCC de natureza concretícia, empregue na W3.

Sendo assim, constata-se que será mais conveniente tanto economicamente como em relação ao desempenho na remoção dos parâmetros de DBO, DQO e Nitrogênio Amoniacal a utilização de RCC de natureza cerâmica como material de enchimento em *Wetlands* construídas.

Como já mencionado as W1 e W3 tiveram comportamentos semelhantes em relação ao desempenho, porém em relação ao critério econômico o material RCC de natureza concretícia possui um valor abaixo, podendo as vezes ser obtido de maneira gratuita, do valor das pelotas de argila expandida, sendo assim é mais pertinente a utilização de RCC de natureza concretícia, em caso de não dispor de RCC de natureza cerâmica ao invés de pelotas de argila expandida.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

BASTOS, F. A. **Avaliação do processo de fabricação de telhas e blocos cerâmicos visando a certificação do produto.** 2003. 164f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.

KHOLGRUBER, V. **BRAMAR – Planning of a constructed wetland for municipal wastewater treatment.**

LOPES, T. R. **Caracterização do esgoto sanitário e lodo proveniente de reator anaeróbio e de lagoas de estabilização para avaliação da eficiência na remoção de contaminantes.** 2015. 122f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2015.

MELLO, D. de. **Avaliação do uso de *wetlands* construídas no tratamento de esgoto sanitário.** 2016. 164f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

MORAVIA, W. G. et al. **Caracterização microestrutural da argila expandida para aplicação como agregado em concreto estrutural leve.** *Cerâmica*, Belo Horizonte, v. 52, p. 193 – 199, 2006.

ORMONDE, V. S. S. **Avaliação de '*wetlands*' construídos no pós-tratamento de efluentes de lagoas de maturação.** 2012. 96f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental) Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2012.

PAOLI, A. C. de. **Análise de desempenho e comportamento de *wetlands* horizontais de fluxo subsuperficial baseado em modelos hidráulicos e cinéticos.** 2010. 165f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2010.

PAOLI, A. C. de.; SPERRLING M. V. **Avaliação das condições hidrodinâmicas de *wetlands* construídos de escoamento horizontal subsuperficial (unidades plantada e não plantada).** *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)*, v. 1, n. 2. P. 213 – 222, 2013.

SALARO JUNIOR, R. **Avaliação da eficiência de sistema fito-pedológico (*wetlands*) na depuração de efluentes domésticos gerado em pequena comunidade.** 2008. 156f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2008.

FUNDAÇÃO BRASILEIRA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Controle de qualidade de água através de sistemas *wetlands* construídos.** informação e documentação: referência – elaboração. Rio de Janeiro, 2000.

POÇAS, C. D. **Utilização da tecnologia de *wetlands* para tratamento terciário: controle de nutrientes.** 2015. 109f. Dissertação (Mestrado em Ciências) Universidade de São Paulo. São Paulo, 2015

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução n° 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n° 357, de 17 de março de 2005. Disponível em &lt;

<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso em 25 de outubro de 2017.

**INSTITUTO TERRAMAX. Utilização de sistemas de *wetlands* construídas para tratamento de águas.** informação e documentação: referência – elaboração. Piracicaba, 2009

**OLIVERIA JUNIOR. L. H. R. de. Uso do filtro de areia na adequação do efluente da ETE mangabeira para ultrafiltração.** 2017. 62f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2017.

**TONIANATO J. V. Avaliação de um wetland construído no tratamento de efluentes sépticos – estudo de caso ilha grande, rio de janeiro, Brasil.** 2005. 95f. Dissertação (Mestrado em Ciências) Fundação Oswaldo Cruz Escola Nacional De Saúde Pública Departamento De Saúde E Saneamento Ambiental. Rio de Janeiro, 2005.

**MAYCA J. et al. Estudo da resistência à compressão de concretos leves produzidos com argila expandida nacional.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 51. 2009.**Anais...** IBRACON 2009

**QUARESMA L. F. Projeto de assistência técnica ao setor de energia.** 2009. J. Mendo Consultoria.

**PINHO D. Contribuição à Petrografia de pedra britada.** 2007