



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

RAFAELLE DANTAS DA SILVA

**O EFEITO DO TEMPO DE CICLO DE OPERAÇÃO DE FILTRAÇÃO SOBRE A
EFICIÊNCIA DE *WETLANDS*.**

JOÃO PESSOA - PB

2017

RAFAELLE DANTAS DA SILVA

**O EFEITO DO TEMPO DE CICLO DE OPERAÇÃO DE FILTRAÇÃO SOBRE A
EFICIÊNCIA DE *WETLANDS*.**

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 Barbosa Athayde Júnior.

JOÃO PESSOA – PB

2017

FOLHA DE APROVAÇÃO

RAFAELLE DANTAS DA SILVA

**O EFEITO DO TEMPO DE CICLO DE OPERAÇÃO DE FILTRAÇÃO SOBRE
A EFICIÊNCIA DE WETLANDS.**

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

GILSON B. ATHAYDE JR APROVADO
Gilson Barbosa Athayde Júnior

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do CT/UFPB

Elisângela M. R. Rocha APROVADO
Elisângela Maria Rodrigues Rocha

Universidade Federal da Paraíba

Leonardo Vieira Soares APROVADO
Leonardo Vieira Soares

Universidade Federal da Paraíba

Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga
Prof. Ana Cláudia Fernandes Medeiros Braga

Matrícula Siape: 1668619

Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia Civil

S586e Silva, Rafaelle Dantas da

O Efeito do tempo de ciclo de operação de filtração sobre a eficiência de *wetlands*./ Rafaelle Dantas da Silva – João Pessoa, 2017.

50f. 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. Poluentes 4. Saneamento.

I. Título.

BS/CT/UFPB

CDU: 2.ed. 628 (043)

RESUMO

Os problemas de saneamento básico no Brasil ainda são notórios, apesar dos avanços em tecnologia em diversas áreas. A falta de redes coletoras de esgoto e de sistemas de tratamento que atendam a toda população, tornam cada vez mais evidente a necessidade de se procurar alternativas eficientes e de baixo custo para o tratamento dos efluentes domésticos. Nesse contexto, a tecnologia de sistemas de *Wetlands Construídos* vem surgindo como uma opção viável para ajudar a solucionar essa problemática. Diante disso, este trabalho avaliou o funcionamento de um sistema de *Wetlands Construídos*, trabalhando em bateladas e em ciclos de 7-14 dias e 3,5-7 dias no controle do pH e na remoção de DBO₅, DQO e Nitrogênio Amoniacal em efluentes domésticos, após passarem por um pré-tratamento de uma Estação de Tratamento de Esgotos. Os resultados concluíram que não há diferença significativa na eficiência quanto ao tempo de funcionamento das wetlands, o sistema em ambas as fases removeu os poluentes dentro da mesma faixa. Contudo, ficou evidente que a tecnologia é eficiente quando comparado os valores de redução de poluentes ao esgoto bruto que chega a estação, ou seja, esse sistema pode ser muito bem aplicado no cenário atual do país.

Palavras-chaves: wetlands; tratamento; poluentes; saneamento.

ABSTRACT

Despite the advances in technology in several areas, the problems of basic sanitation in Brazil are still notorious. The lack of sewage collection systems and treatment systems to meet the needs of the population make it very clear the need to seek efficient and low-cost alternatives for the treatment of domestic effluents. In this context, Built Wetlands systems technology has emerged as a viable option to help solve this problem. Therefore, this work evaluated the performance of a Built Wetlands system working in periods and cycles of 7-14 days and 3.5 / 4-7 days in control the pH and in the removal BOD₅, COD and Ammoniacal Nitrogen in domestic effluents after passing for a pretreatment of a Sewage Treatment Plant. The results concluded that there is no significant difference in the efficiency of the wetlands operating time; the system in both phases removed the pollutants within the same range. However, it was evident that the technology is efficient when compared to the values of pollutant reduction to the raw sewage arriving at the station, that is, this system can be very well applied in the current scenario of the country.

Keywords: wetlands; treatment; pollutants; sanitation.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”. (Marthin Luther King)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, por ser a minha força e refúgio nos momentos difíceis e por colocar pessoas maravilhosas no meu caminho.

A minha família, em especial, aos meus pais, Dione e Alexandre, minha avó, Maria da Penha e meu irmão, Alexandre Júnior, por serem meu porto seguro, me ajudando a manter esperança, mesmo quando eu já não era capaz de enxergá-la. O amor incondicional de vocês foi e é essencial na minha vida.

Ao meu noivo e companheiro, André Sampaio, por todo carinho, compreensão e por sempre estar ao meu lado me apoiando e me incentivando nesse longo período de curso e da vida.

A minha sogra e amiga, Odete Sampaio, por toda alegria e apoio, sempre me ajudando a caminhar nessa jornada.

Ao meu orientador, Gilson Barbosa, por me permitir fazer parte desse projeto e por ser um professor tão comprometido e dedicado, um verdadeiro exemplo de educador.

Aos amigos, Alerson Vicente, Ana Cláudia, Andressa Valéria, Caroline Freire, Ester Medeiros, Ivoneide Rosilda, Maria Juliana e Melissa Rodrigues, por serem fonte de alegria e esperança na minha vida.

Aos amigos, Igor Rolim, Thaís Farias, Luis Henrique, Luan Cardoso, Simone Morena, Vinicius Urquiza, Kaline Gomes, Ídilla Kaenna e Ana Beatriz, por todas as risadas e lágrimas compartilhadas ao longo do curso, é bem mais fácil passar pelos perrengues da UFPB quando se tem pessoas como vocês no dia-a-dia.

Aos professores Elisângela Maria e Leonardo Vieira, por aceitarem o convite para participar da banca,

Aos professores do DECA por todo conhecimento compartilhado e por todas as lições de vida. Em especial a Andrea Brasiliano, Ana Cláudia Medeiros e Clóvis Dias, por sempre se preocupar com os alunos, nos apoiando não só nos assuntos da UFPB, mas na vida.

A FINEP e BMBF, pelo apoio financeiro ao projeto BRAMAR.

A CAGEPA, pela parceria junto ao projeto BRAMAR.

Ao Laboratório de Tecnologia Química da UFPB (LTQ), pelo apoio as análises laboratoriais.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Principais vantagens e desvantagens dos sistemas de wetlands construídos.	19
Figura 2 - Tipos de wetlands construídos.....	20
Figura 3 - Esquema de uma WCFH.	22
Figura 4 - Esquema de uma WCFV.	22
Figura 5 - Principais projetos de Sistemas de Tratamento de Água para Abastecimento Público e Industrial realizados pelo Instituto de Ecologia Aplicada, utilizando Sistema de wetlands.	25
Figura 6 - Vista em planta da ETE de Mangabeira.....	26
Figura 7 - Vista da ETE de Mangabeira.	27
Figura 8 - Gradeamento do Sistema de Tratamento Preliminar.....	28
Figura 9 - Desarenador do Sistema de Tratamento Preliminar	28
Figura 10 - Medidor de vazão do sistema (Calha Parshall).....	28
Figura 11 - Sistema de alimentação da ETE.	29
Figura 12 - Esquema de construção do sistema de Wetlands na ETE de Mangabeira..	30
Figura 13 - Pelotas de argila expandida fragmentada.....	31
Figura 14 - RCC Concretício.	31
Figura 15 - RCC cerâmico.....	31
Figura 16 - Lonas de PVC utilizadas para forrar o fundo das wetlands.....	32
Figura 17 - Estruturas de tubos para ventilação e drenagem das Wetlands	33
Figura 18 - Disposição das camadas nas wetlands.	34
Figura 19 - Células do sistema de wetlands trabalhando fase 01 (7-14 dias).	34
Figura 20 - Células do sistema de wetlands trabalhando fase 02 (3,5-7 dias).	35
Figura 21 - Comparação dos valores de pH para as duas fases do sistema de wetlands e esgoto bruto (EB).	37
Figura 22 - Comparação dos valores de DBO5 para as duas fases do sistema de wetlands e para o esgoto bruto (EB).	40
Figura 23 - Comparação dos valores de DQO para as duas fases do sistema de wetlands e esgoto bruto (EB)	43
Figura 24 - Comparação dos valores de Nitrogênio Amoniacal para as duas fases do sistema de wetlands e esgoto bruto (EB).....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores de pH para as fases do sistema de wetlands.....	36
Tabela 2 - Análise dos valores de pH para as fases de funcionamento das wetlands através do método da análise de variância (F).....	38
Tabela 3 - Valores de DBO5 para as fases de funcionamento das wetlands.....	39
Tabela 4 - Análise dos valores de DBO5 para as fases de funcionamento das wetlands através do método de variância (F).....	41
Tabela 5 - Valores de DQO para as fases de funcionamento das wetlands.	42
Tabela 6 - Análise dos valores de DQO para as fases de funcionamento das wetlands através do método da análise de variância (F).....	44
Tabela 7 - Valores de Nitrogênio Amoniacal para as fases de funcionamento das wetlands.	45
Tabela 8 - Análise dos valores de Nitrogênio para as fases de funcionamento das wetlands, através do método de variância (F).....	47

LISTA DE SIGLAS

RCC	Resíduo de Construção Civil
CAGEPA	Companhia de Água e Esgoto da Paraíba
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FBDS	Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável
WC	Wetlands Construídos
pH	Potencial Hidrogeniônicos
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxigênio em 5 dias, a 20°C
DQO	Demanda Química de Oxigênio
SS	Sólidos Suspensos
SFS	Sistema de Fluxo Superficial
SFSB	Sistema de Fluxo Subsuperficial
WCFH	Wetland Construída de Fluxo Subsuperficial Horizontal
WCFV	Wetland Construída de Fluxo Subsuperficial Vertical
PE	Pessoa Equivalente
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS	17
2.1. Objetivo Geral	17
2.2. Objetivo Específico	17
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1. Sistemas de Wetlands Construídos.....	18
3.1.1 Tipos de wetlands construídos.....	20
3.1.1.1 Sistemas de fluxo superficial (SFS).....	20
3.1.1.2 Sistemas de fluxo subsuperficial (SFSB).....	21
3.1.1.2.1 Wetlands construídos de fluxo subsuperficial horizontal (WCFH)	21
3.1.1.2.2. Wetlands Construídos de Fluxo Subsuperficial Vertical (WCFV)	22
3.1.2. Wetlands Construídos em bateladas (Modelo Francês)	23
3.2. Wetlands construídos – Contexto histórico	23
4. METODOLOGIA.....	26
4.1. Caracterização da ETE Mangabeira	26
4.2. Descrição do sistema de Wetlands construídos	29
4.3. Dimensionamento das Wetlands	30
4.4. Amostragem	35
4.5. Análise Estatística.....	35
5. ANÁLISES DOS RESULTADOS.....	36
5.1. Potencial Hidrogênio (pH).....	36
5.2. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO5)	39
5.3. Demanda Química de Oxigênio (DQO)	42
5.4. Nitrogênio Amoniacal	45

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

1. INTRODUÇÃO

Apesar de ser um país ainda em desenvolvimento, o Brasil tem apresentado avanços expressivos em diversos setores da sociedade. Entretanto, quando se trata de Saneamento Básico, ainda há muito a ser feito para melhorar a qualidade de vida e o bem-estar social da população.

De acordo com o Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto (SNIS) e com Instituto Trata Brasil, em 2015 aproximadamente 50,3% da população possui rede coletora de esgotos e apenas 42,67% do esgoto é tratado. Através de uma análise mais profunda, observa-se que de todas as regiões do país, a Norte é que apresenta a pior situação, na qual apenas 16,4% do esgoto é tratado e o índice de atendimento total é de 8,7%, já região Centro-Oeste traz o maior índice de esgoto tratado, porém a média de esgoto chega a atingir metade da população. Em termos gerais, a melhor situação encontra-se na região Sudeste que apresenta 47,39% de esgoto tratado com um índice de atendimento total de 77,23%.

Dados importantes do Instituto Trata Brasil ainda apontam que nas 100 maiores cidades do Brasil mais de 3,5 milhões de brasileiros ainda despejam esgoto irregularmente na natureza. Conforme exposto anteriormente, a necessidade de se trazer alternativas sustentáveis e economicamente viáveis para regiões ainda não atendidas pelos sistemas convencionais de tratamento de esgoto são evidentes em nosso país.

O restante da população, não atendida por redes de esgoto, utilizam soluções individuais, sendo a mais comum no Brasil, o tanque séptico.

Diante desse cenário pode-se apresentar como uma alternativa para solucionar esses problemas as *wetlands construídas*. Tratam-se de ecossistemas artificiais que utilizam diferentes tecnologias, funcionando através de princípios básicos de modificação da água. (SALATI et al., 2009).

Esses sistemas podem ser empregados no tratamento de águas residuárias, por meio de plantas aquáticas, das propriedades do solo em que será construído e do material utilizado como filtro, afim de alcançar a remoção de matéria orgânica, nutrientes, entre outros parâmetros (FREITAS, 2015).

Neste contexto, o estudo que será desenvolvido ao longo deste trabalho será dirigido por meio da construção e acompanhamento de um sistema de *wetlands* construídos de fluxo vertical, com três tipos de materiais filtrantes, instalado na Estação de Tratamento de Esgoto de Mangabeira, da Companhia de Água e Esgoto da Paraíba (CAGEPA), através do Projeto BRAMAR. O sistema é constituído de 3 células, uma utilizando argila expandida, a outra RCC cerâmico e a última RCC concretício, nas quais foram cultivadas a plantas popularmente conhecida como junco da espécie *monocotiledóneas* do tipo *junciforme*, pertencentes às famílias *Juncaceae* e *Cyperaceae*. com efluente bruto, tendo como objetivo comparar o seu desempenho através da diferença de funcionamento, bem como da resposta da macrófita para ciclos de batelada (alimentação/descanso) de 7-14 e 3,5-7 dias.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

O estudo desenvolvido neste trabalho tem como objetivo verificar a influência dos tempos de ciclos de alimentação/repouso de *wetlands*, operadas em batelada, na remoção de DBO₅, DQO e Nitrogênio Amoniacoal.

2.2. Objetivo Específico

Caracterizar o esgoto bruto e o efluente do sistema de *wetlands*, sob duas condições de ciclo de alimentação/repouso.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Sistemas de Wetlands Construídos

Segundo Salati, em um estudo realizado pela Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável (FBDS), o termo *wetland* é utilizado para definir diversos ecossistemas naturais que permanecem total ou parcialmente alagado ao longo do ano. De modo geral, as regiões onde existem *wetlands* possuem grande saturação de água que é o fator essencial para determinar o sistema de desenvolvimento do solo e como o ecossistema como um todo se formará (U.S. FWS, 1979 apud ANDRADE, 2012).

Portanto, as *wetlands* construídas (WC), podem ser definidas como ecossistemas artificiais, que utilizam os princípios básicos de modificação da qualidade da água das *wetlands* naturais, mas, que diferem desse pelo seu regime hidrológico, pois para esses sistemas é controlado (SALATI et al., 2009). A aplicação do esgoto nas WC é feita por meio de bateladas pelo acionamento de uma bomba centrífuga em um tempo pré-determinado.

Os desempenhos das WC basicamente semelhantes aos fenômenos ocorrentes em áreas alagáveis naturais (brejos, várzeas, pântanos etc.), que realizam o tratamento das águas residuárias. Esses sistemas utilizam-se dos processos físicos, químicos e biológicos, que envolvem a água, solo, planta, microrganismos e a atmosfera, para realizar a degradação da matéria orgânica presente no efluente (METCALF e EDDY, 1991 apud ANDRADE, 2012).

A planta tem como função proporcionar o fornecimento de oxigênio ao solo através de rizomas possibilitando o desenvolvimento de uma população de microrganismos que são encarregados de remover os poluentes da água, o que torna esses sistemas tão eficientes, pois o processo de transformação da matéria orgânica é muito completo, devido à grande presença de biomassa e a temperatura também influencia por afeta diretamente a atividade microbiológica (Melo et al, 2013). Já o solo (ou meio suporte) possui a função de desenvolver a anaerobiose que permitirá a desnitrificação do nitrato (DUARTE, 2002 apud SILVA, 2007). De acordo com Von Sperling (2005) apud Faissal (2016), as zonas de raízes possuem como vantagem sua grande eficiência quanto a

remoção de DBO (80-90%), DQO (75-85%), Sólidos Solúveis (SS) (87-93%) e organismos patogênicos, como coliformes fecais (3-4 decaimento log), entre outros.

Além disso, possui várias vantagens assim como desvantagens, as quais apresentaremos na figura a seguir.

Figura 1 - Principais vantagens e desvantagens dos sistemas de *wetlands* construídos.

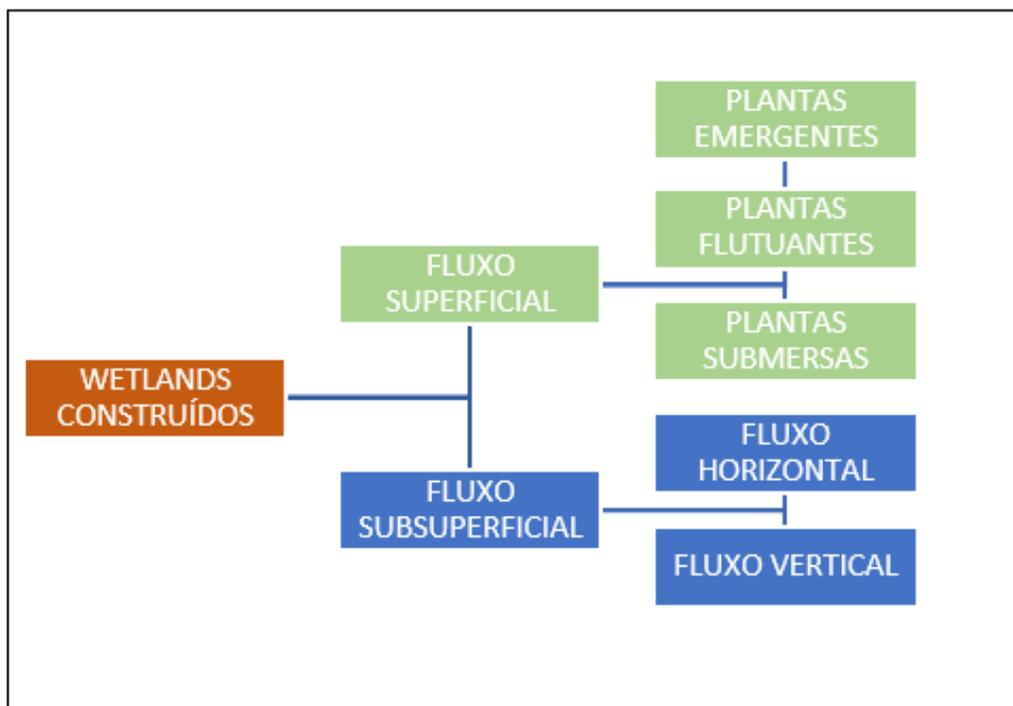
Vantagens	Referência bibliográfica
Custos de construção e operação relativamente baixos.	Duarte (2002), IEA (2004), Denny (1997), Koottatep <i>et al.</i> (2001).
Fácil manutenção.	Silvestre e Pedro-de-Jesus (2002).
Tolerância a flutuações no ciclo hidrológico e nas cargas de contaminantes.	Silvestre e Pedro-de-Jesus (2002).
Possibilidade de se obterem alguns benefícios adicionais, tais como a criação de espaços verdes, de <i>habitats</i> naturais e de áreas recreacionais ou educacionais.	Silvestre e Pedro-de-Jesus (2002).
Não requer o uso de energia.	Silvestre e Pedro-de-Jesus (2002); Duarte (2002).
Não requer produtos químicos ou equipamentos mecânicos.	Silvestre e Pedro-de-Jesus (2002).
Redução da matéria orgânica e dos sólidos sedimentáveis.	Cooper (1999), Silvestre e Pedro-de-Jesus (2002).
Podem ser construídos com solo e com mínimo de concreto e aço.	Senzia <i>et al.</i> (2003).
Não possui mau cheiro, porque as raízes funcionam como filtro eliminando-o.	Silvestre e Pedro-de-Jesus (2002); Duarte (2002).
Possibilidade de um tratamento eficaz sem a necessidade de equipamentos complexos.	Duarte (2002).
Possibilidade de reciclagem, reutilização e a valorização dos efluentes.	Duarte (2002).
“Alta produção de biomassa que pode ser utilizada na produção de ração animal, energia (biogás) e biofertilizantes (compostos orgânicos)”.	IEA (2004).
Considerável redução de patógenos.	Chernicharo (2001).
Remoção satisfatória de matéria orgânica, sólidos suspensos, nitrogênio e fósforo.	Chernicharo (2001).
Desvantagens	Referência bibliográfica
Podem causar problemas com mosquitos.	Silvestre e Pedro-de-Jesus (2002).
Necessidade de caracterizações precisas dos sólidos do efluente a tratar, do tipo de enchimento, do ciclo hidrológico e do regime de temperaturas.	Silvestre e Pedro-de-Jesus (2002).
Colmatação que ocorre com alguma frequência, havendo, portanto, a necessidade do controle da carga hidráulica e de sólidos para minimizar este problema.	Silvestre e Pedro-de-Jesus (2002).
Requerer um período de início até a vegetação estar bem estabelecida.	Duarte (2002).
Alguns compostos orgânicos removidos pelo sistema podem estar ligados aos sedimentos e se acumularem ao longo do tempo.	Silvestre e Pedro-de-Jesus (2002).
Eficiências sazonais.	Duarte (2002).

Fonte: Silva (2007)

3.1.1 Tipos de wetlands construídos

Os sistemas de zona de raízes podem ser classificados pela disposição e tipo de planta que será utilizada (flutuantes, submersas, entre outras) e pelo fluxo do efluente, que poderá ser horizontal, vertical. (MELO et al, 2013). Quanto ao tipo de planta utilizada os sistemas são classificados ele é subdividido em emergentes, flutuantes e submersos. Já com relação ao fluxo do efluente eles são classificados como subsuperficial e subdivididos em vertical e horizontal, conforme ilustra o esquema a seguir.

Figura 2 - Tipos de wetlands construídos.



Fonte: Adaptado de Faissal (2016)

3.1.1.1 Sistemas de fluxo superficial (SFS)

Nas WCs que operam com fluxo superficial, o efluente entra no sistema na parte de cima do meio filtrante, por entre os caules e as folhas da vegetação (MANNARINO, 2003 apud ORMONDE, 2012). São indicadas para solos pouca permeabilidade e terrenos com baixa declividade. A matéria orgânica e os sólidos suspensos são tratados com grande eficiência, por causa da baixa velocidade do fluxo e o grande tempo de

residência hidráulico, além das boas condições de sedimentação (RAN et al, 2004 apud ORMONDE, 2012) O sistema de fluxo subsuperficial é mais utilizado quando comparado com o superficial devido a possibilidade de ocorrência de mosquitos e a produção de odor. (KNIGHT E WALLACE, 2004 apud POÇAS, 2015).

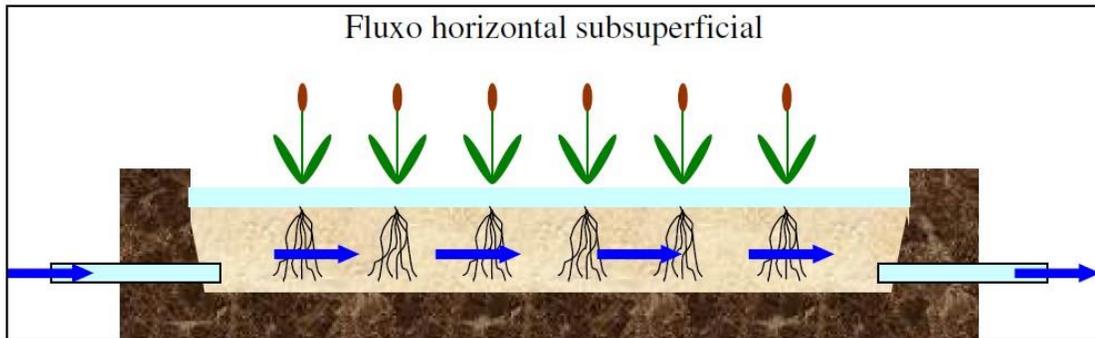
3.1.1.2 Sistemas de fluxo subsuperficial (SFSB)

Diferentemente do sistema de fluxo superficial, no sistema subsuperficial não existe uma lâmina d'água acima do solo, são basicamente filtros lentos preenchidos com brita, areia ou qualquer outro material utilizado como meio filtrante e suporte para as raízes das plantas se desenvolverem. O efluente passa pelas camadas do material filtrante, o qual em contato com bactérias facultativas ligadas ao substrato e as raízes das plantas (USEPA, 2000 apud POÇAS, 2015).

3.1.1.2.1 Wetlands construídos de fluxo subsuperficial horizontal (WCFH)

Nas WCFH o efluente atravessa o leito do sistema em sentido horizontal, indo de uma extremidade até a outra. Fazendo uma análise com os sistemas de fluxo superficial isso é uma vantagem, pois há possibilidade de ser construído em lugares frios e não apresenta risco de transmissão de doenças ao homem. (FAISSAL, 2016). No leito, o efluente é retido por tempo determinado, ali ele entra em contato com as raízes da planta e com as bactérias decompositoras, onde é tratado pela atividade biológica desses organismos. Após certo tempo, o efluente tratado é retirado pela extremidade oposta à que entrou. Esse tipo de direcionamento de fluxo tem uma desvantagem com relação ao SFS pois, por precisar de uma área maior elevará o custo e opera uma quantidade menor de efluente, devido a sua configuração. (KADLEC; WALLACE, 2009 apud FAISSAL, 2016). Na Figura 3, observa-se a um esquema desse tipo de *Wetland* Construída.

Figura 3 - Esquema de uma WCFH.

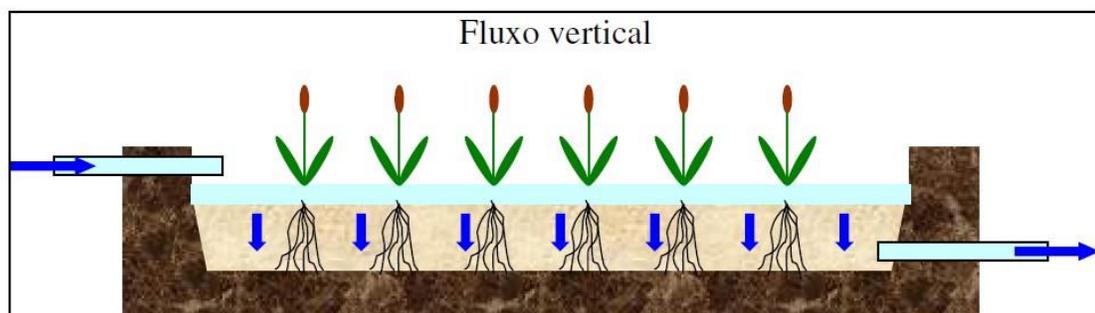


Fonte: Tshuhako (2005)

3.1.1.2.2. *Wetlands* Construídos de Fluxo Subsuperficial Vertical (WCFV)

No sistema de *Wetland* Construído de Fluxo Subsuperficial Vertical (WCFV) o sentido que efluente atravessa o sistema de raízes das plantas é de cima para baixo, ou seja, por ação da gravidade fluxo vertical chega até a zona das raízes. Assim como o de fluxo horizontal, possui a vantagem não oferecer perigo a saúde humana, pois não expõe efluente ao meio ambiente (KADLEC; WALLACE, 2009 apud FAISSAL, 2016). Utiliza-se as WC construídas com esse fluxo quando se requer maior condutividade hidráulica e maior oxigenação ao sistema radicular (BRIX & SCHIERUP, 1990 apud SALATI et al, 2009). Os estudos que utilizam essa metodologia apresentam bons indicativos de remoção de sólidos suspensos, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Amônia e Fósforo. (HILL & SAWHNEY.,1981 apud SALATI et al, 2009). Na Figura abaixo observa-se a um esquema desse tipo de *Wetland* construída.

Figura 4 - Esquema de uma WCFV.



Fonte: Tshuhako (2005)

3.1.2. Wetlands Contruídos em bateladas (Modelo Francês)

Dentre os diversos tipos de *wetlands* construídos que tratam as águas residuais domésticas, o sistema de fluxo vertical (WCFV) é o design mais comum encontrado na França, por isso são muitas vezes referidos como o "sistema francês" (MOLLE et al, 2015). Esse sistema desenvolvido por Cemagref é utilizado há mais de 20 anos (LIE'NARD, 1987 apud MOLLE, 2015).

O design clássico consiste em dois estágios de WCFV não saturados em série, cada um composto de 2-3 leitos que são sequencialmente alimentados por uma vazão de efluentes residuais. O tratamento dos efluentes por WCV envolve inúmeros mecanismos, como a filtração física de sólidos orgânicos (lodo) na superfície da região úmida e degradação aeróbica de poluentes solúveis (amônio, DBO₅) dentro dos meios filtrantes não saturados. A concepção do sistema consiste em 3 filtros operados em paralelo, onde cada filtro é alimentado por cerca de 1 semana e repousa durante 2 semanas (PRIGENT et al, 2013).

A importância da alternância nas fases de alimentação se deve ao controle do crescimento da biomassa agregada na mídia do filtro que mantém as condições aeróbicas e mineraliza os depósitos orgânicos contidos no esgoto bruto que são retidos na superfície dos filtros. O dimensionamento dos filtros é baseado em uma carga orgânica aceitável expressa como unidade de superfície de filtro por Pessoa Equivalente (PE). A área de superfície dos WCV varia entre 1,2 e 1,5 m²/PE, dependendo da qualidade da coleta do sistema de esgoto, ou seja, sistema unitário, separador parcial ou absoluto. (MOLLE et al, 2015; PRIGENTE et al, 2013)

3.2. Wetlands construídos – Contexto histórico

Em 1965 foi executado o primeiro projeto com sistema de wetland construído, pelo Instituto Max Planck ("Max Planck Institute), localizado na Alemanha. Porém, apenas em 1977 em Othfresen foi projetado um sistema em escala real para o tratamento de água residuais urbanas (MAIS, 2004 apud SILVA, 2007). Posteriormente essa tecnologia também foi utilizada para a despoluição do rio Don e do rio Tamisa, na Inglaterra e no

Canadá, respectivamente, assim como em diversos outros países como Itália, Holanda, Portugal, França, entre outros. (SILVA, 2007).

A primeira tentativa de utilização de WC no Brasil foi na década de 80, que se tratava de um lago artificial com aguapés que se encontrava próximo de um córrego poluído. Em seguida várias pesquisas foram realizadas por Rodolfo e Lourde (1999), os quais denominaram esses processos como fitopedológicos que foram aplicados ao tratamento de águas residuárias domésticas, mas na verdade eram sistemas *wetlands* construídos utilizando-se de areia grossa de com grande teor de permeabilidade como solos filtrantes e suporte para macrófitas aquáticas como taboas (*Thypha* spp.), junco (*Juncaceae sellovianus*) e lírio-do-brejo (*Hedychium coronarium*) (SALATI et al. 1982 apud ORMONDE 2012).

No estado de Santa Catarina, Platzer, Hoffmann e Cardia (2007) dimensionaram 15 sistemas *wetlands* implantados para 5 a 2.200 habitantes. Em um loteamento foi utilizado o sistema de *wetland* para atender uma população de 2.200 habitantes que foram atraídos pela simplicidade da sua tecnologia e manutenção e baixo custo podendo ser mantido pelos próprios funcionários do condomínio. Além proporcionar um paisagismo ambiental em forma de jardins ou parques que esses sistemas reproduzem. Em Belém do Pará, uma ETE utilizando zona de raízes atende a uma população de 13.000 habitantes. (Melo et al, 2013).

De acordo com Salati (2009) existem atualmente no Brasil várias estações de tratamento de esgoto que utilizam *wetlands* construídas projetadas pelo Instituto de Ecologia Aplicada. Algumas figuras com exemplos serão apresentadas a seguir.

Figura 5 - Principais projetos de Sistemas de Tratamento de Água para Abastecimento Público e Industrial realizados pelo Instituto de Ecologia Aplicada, utilizando Sistema de *wetlands*.

Sistemas de Tratamento de Água para Abastecimento Público e Industrial Localização	Vazão	Solos Filtrantes	Canal com Plantas Aquáticas
Prefeitura Municipal de Piracicaba (Rio Piracicaba – SP) Estação Experimental	40 l.s ⁻¹	5.000 m ² fluxo descendente	4.320 m ²
IRCOSA - Indústria de Couros - Caruaru - PE Abastecimento industrial	12 l.s ⁻¹	1.500 m ² fluxo descendente	3.000 m ²
Prefeitura Municipal de Analândia (Córrego do Retiro – SP) Abastecimento público (6.480 habitantes)	15 l.s ⁻¹	2.016 m ² fluxo descendente	1.590 m ²
Parque Ecológico do Tietê (Rio Tietê, São Paulo – SP) Estação Experimental	0,6 l.s ⁻¹	135 m ² fluxo descendente e ascendente	325 m ²
SABESP – Carapicuíba (Rio Cotia – SP) Estação Experimental	1 l.s ⁻¹	26 m ² fluxo descendente	60 m ²
SABESP - Região do Baixo Cotia (Rio Cotia – SP) Projeto	1700 l.s ⁻¹	–	175.245 m ²
SANEPAR - Curitiba (Rio Palmital – PR) (Projeto)	1000 l.s ⁻¹	160.000 m ² fluxo descendente	530.000 m ²

Fonte: Salati (2009)

4. METODOLOGIA

4.1. Caracterização da ETE Mangabeira

O sistema objeto de estudo deste trabalho foi desenvolvido na Estação de Tratamento de Esgotos de Mangabeira, pertencente a CAGEPA (Companhia de Água e Esgotos da Paraíba), assim como o efluente analisado. Essa ETE faz parte do sistema de esgotamento sanitário da cidade de João Pessoa e é abastecida principalmente com esgoto doméstico, coletado dos bairros de Mangabeira, Valentina de Figueiredo, Ernesto Geisel, Funcionários I e II, Gramame, Grotão, Jardim São Paulo e Monsenhor Magno, com uma capacidade de tratamento para uma população de aproximadamente 99.350 habitantes.

De acordo com Baracuhy (2006) apud Oliveira Júnior (2017), a vazão média de esgoto que alimenta a ETE é de 35,52l/s. A seguir na Figura 6, pode-se observar a vista em planta da região das lagoas da estação e na Figura 7 uma vista geral do sistema.

Figura 6 - Vista em planta da ETE de Mangabeira.



Fonte: Do Autor (2017)

Figura 7 - Vista da ETE de Mangabeira.



Fonte: Do Autor (2017)

Os efluentes que chegam a ETE de Mangabeira passam por um tratamento preliminar, formado por grade, desarenador e um sistema de medição de vazão (calha Parshall), conforme ilustram as Figuras 7, 8 e 9. O sistema da estação é formado por um conjunto de 3 módulos, que são constituídos por duas lagoas anaeróbias seguida por uma facultativa, em série. A alimentação do conjunto (Figura 11) é feita através de emissários de recalque, caixa de distribuição, seguido da tubulação que despeja o efluente nas lagoas de cada módulo.

O tratamento preliminar é composto por um sistema de grades de seção $3/8 \times 1\frac{1}{2}$ " (0,95 x 3,81cm) e espaçamento de $1\frac{1}{4}$ " (3,18cm). Na etapa seguinte, o efluente passa no desarenador, o qual é dividido em dois canais paralelos, com dimensões de 8,25 x 1,25m cada, e altura do depósito de areia de 0,30m, considerando um período de limpeza de 15

dias. A calha Parshall tem dimensão nominal de 9" (23cm) e capacidade máxima de 132,4l/s (CAGEPA, 1981 apud Oliveira Júnior, 2017).

Figura 8 - Gradeamento do Sistema de Tratamento Preliminar.



Fonte: Do Autor (2017)

Figura 9 - Desarenador do Sistema de Tratamento Preliminar



Fonte: Do Autor (2017)

Figura 10 - Medidor de vazão do sistema (Calha Parshall).



Fonte: Do Autor (2017)

Figura 11 - Sistema de alimentação da ETE.



Fonte: Oliveira Júnior (2017)

As lagoas anaeróbias que compõe o sistema possuem dimensões 63,1 x 63,1 m, volume de 14800 m³, vazão de 8275 m³/dia e um TDH de 1,8 dia. Já as características da lagoa facultativa são: dimensões 228,5 x 140,0 m, vazão de 57600 m³/dia e um TDH de 7 dias (BARACUHY, 2006).

4.2. Descrição do sistema de *Wetlands* construídos

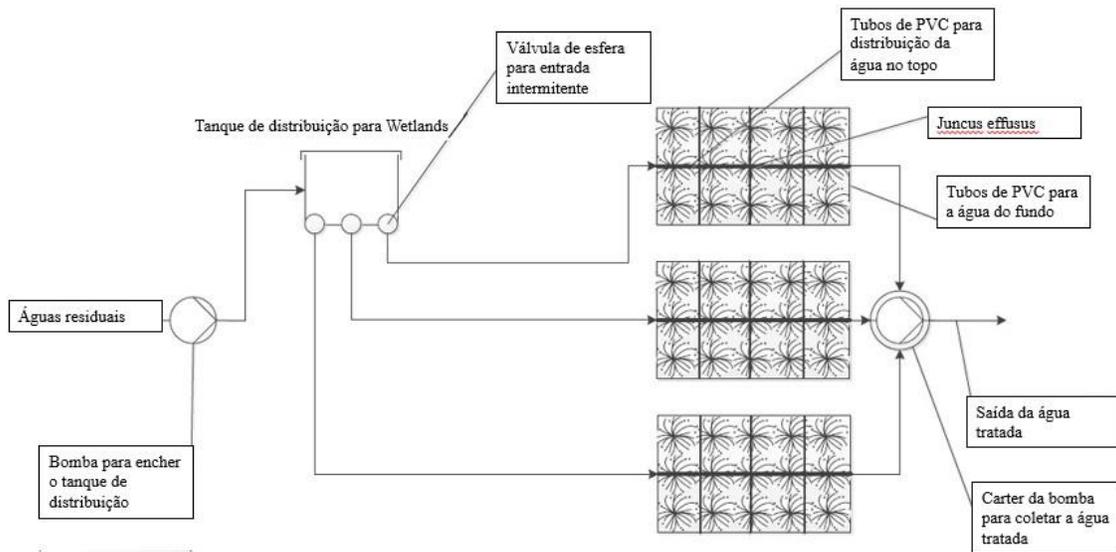
O sistema selecionado para o estudo foi o de *wetlands* construídos de fluxo vertical, o modelo francês. Como trata-se de uma tecnologia simples e barata é adequada para o nordeste brasileiro.

As *wetlands* são compostas por três células de tratamento paralelas que são alimentadas na primeira fase em ciclos de 3 semanas, ou seja, cada célula é alimentada durante uma semana e descansa por duas. Na segunda fase, cada área trabalha 3,5 dias e descansa uma semana. A alimentação das *wetlands* é realizada por batelada de maneira intermitentemente para evitar qualquer tipo de obstrução no sistema, e passam pelo tratamento preliminar da ETE de Mangabeira e são bombeados até um tanque de distribuição, montado em uma estrutura de madeira garantindo, a partir de então, à

alimentação das zonas úmidas por gravidade. O tanque utilizado tem uma capacidade de 310 litros e na sua parte inferior possui três válvulas de esfera, uma para cada área do sistema. Através de controle automatizado, as válvulas realizam o fluxo, fazendo com que o efluente flua pelo leito do filtro. Após passar pelo sistema, as amostras são coletadas em um tanque para serem encaminhadas para as análises.

A construção do sistema foi projetada de acordo com o esboço apresentado a seguir na figura 11.

Figura 12 - Esquema de construção do sistema de Wetlands na ETE de Mangabeira.



Fonte: Adaptado de Kholgruber (2017)

4.3. Dimensionamento das *Wetlands*

O dimensionamento do sistema de *wetlands* possui a capacidade de tratar as águas residuais de 6 pessoas, totalizando 900 litros por dia. A literatura recomenda que a superfície da área de tratamento seja de 1,2 a 1,5 m² por pessoa. Outro critério utilizado para o projeto foi uma lâmina d'água variando entre 38 – 140 cm por área (MOLLE et al., 2005). Portanto, foi utilizado uma área de 7,5 m², sendo 2,5m² para cada *wetland*. A profundidade adotada foi de 140 cm, sendo 120 cm para o meio filtrante e 20 cm para camada de lodo e superfície livre da água. Os materiais filtrantes utilizados para cada

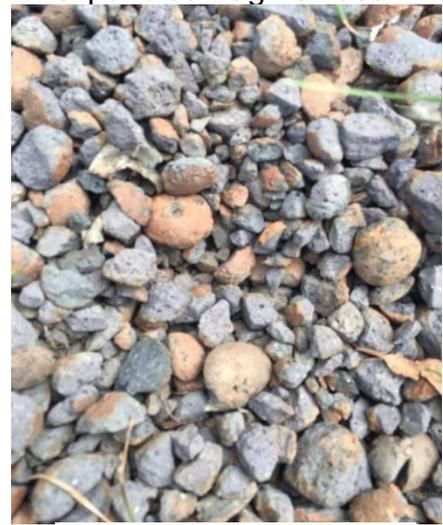
wetland foram: RCC concretício (Figura 12), adquirido na Universidade Federal da Paraíba – UFPB, Pelotas de argila expandida fragmentada (Figura 13), comprada em sacos de 50 l e britadas na Usina de Beneficiamento de Resíduos Sólidos da Construção Civil – USIBEN e o RCC cerâmico (Figura 14), obtido através de uma parceria com uma construtora da cidade, a qual forneceu os resíduos cerâmicos do canteiro de uma de suas obras, que posteriormente também foram britados na USIBEN.

Figura 13 - RCC Concretício.



Fonte: Do Autor (2017)

Figura 14 - Pelotas de argila expandida fragmentada.



Fonte: Do Autor (2017)

Figura 13 - RCC cerâmico



Fonte: Do Autor (2017)

A escavação para *wetlands* foram realizadas através de uma escavadeira disponibilizada pela CAGEPA, no qual constatou-se que o solo da ETE é muito rígido no local de construção do sistema. Diante disso, decidiu-se escavar até uma profundidade de 1 m e construir uma estrutura de madeira de 50 cm para completar a profundidade necessária, tornando o processo mais rápido.

Depois de realizada a escavação, o solo deve ser nivelado deixando uma inclinação de aproximadamente 1%, para permitir que água flua melhor para a saída do sistema.

Foi utilizado para forrar o fundo das *wetlands* uma lona de PVC (Figura 15), que evitará que as águas residuais entrem em contato com as águas subterrâneas.

Figura 14 - Lonas de PVC utilizadas para forrar o fundo das *wetlands*



Fonte: Do Autor (2017)

Para coletar a água que sai das *wetlands*, foram utilizados barris de plásticos de 120 litros, que são materiais baratos e fáceis de serem encontrados no mercado, como coletores, interligados no fundo das WC por meio de uma estrutura de tubos de PVC

(Figura 16), que compreende um anel no fundo conectado ao tubo de evacuação, quatro funis de ventilação nos cantos e um segundo anel no meio da WC para levar ainda mais ar e garantir as condições aeróbias. Além dos tubos de drenagem que permitem a evacuação da água tratada.

Figura 15 - Estruturas de tubos para ventilação e drenagem das Wetlands

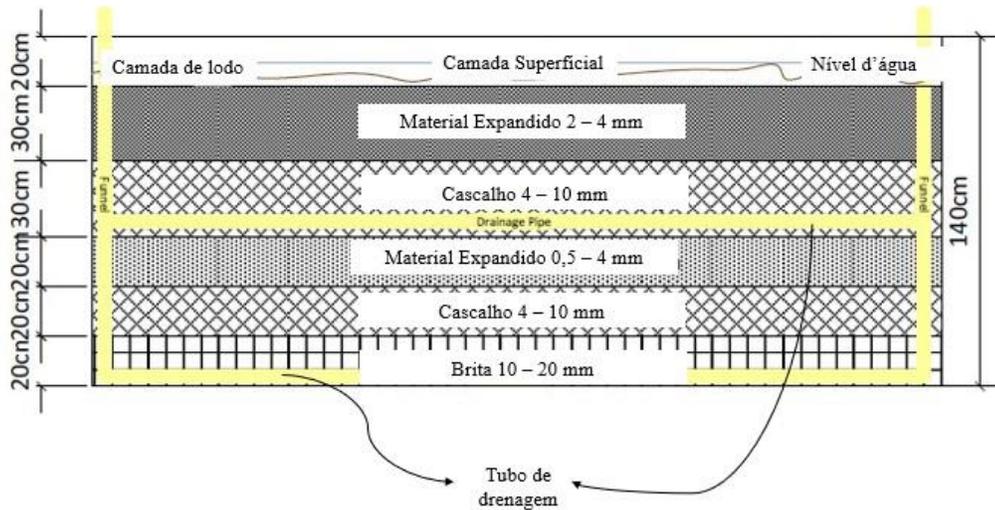


Fonte: Kholgruber (2017)

O modelo francês escolhido para o sistema de WC é formado por diferentes camadas de substrato que tem como consequência o melhoramento do tratamento das águas residuais. As camadas de suporte que são localizadas em torno dos tubos de drenagem foram preenchidas com cascalho. A disposição das camadas de cada *wetland* é apresentada a seguir na Figura 17.

A planta utilizada na superfície das *wetlands* para realizar o tratamento das águas residuais, filtrando e absorvendo os constituintes dos efluentes, foi a *junciforme*, ou como é popularmente conhecida Junco, que possui um crescimento rápido e se desenvolvem bem em locais com muita umidade.

Figura 16 - Disposição das camadas nas *wetlands*.



Fonte: Adaptado de Kohlgrüber (2017)

A seguir, as figuras 18 e 19 trazem as células do sistema de *wetlands* funcionando nos ciclos de 7-14 dias e 3,5-7 dias, respectivamente.

Figura 17 - Células do sistema de *wetlands* trabalhando fase 01 (7-14 dias).



Fonte: Do Autor (2017)

Figura 18 - Células do sistema de wetlands trabalhando fase 02 (3,5-7 dias).



Fonte: Do Autor (2017)

4.4. Amostragem

Semanalmente foram recolhidas as amostras dos efluentes tratados durante o período de abril a novembro de 2017, e encaminhadas ao laboratório para realização das análises, que foram desenvolvidas no laboratório da ETE Mangabeira e da Universidade Federal da Paraíba. Foram utilizadas garrafas PET limpas, com capacidade de 2 litros para coleta do material.

As variáveis analisadas foram pH, Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Nitrogênio amoniacal.

4.5. Análise Estatística

O método estatístico utilizado foi o da Análise de Variância F, que consiste na comparação da variância das médias dos grupos com a variância do erro experimental. Esse método permite que seja feita uma análise estatística simultânea de várias médias.

O F calculado é comparado com o da tabela de distribuição F. Se for maior que o tabelado para o nível de 5%, a diferença é dita significativa, se o F calculado for menor que o tabelado, não há diferença significativa entre os grupos.

5. ANÁLISES DOS RESULTADOS

A análise tem por objetivo comparar o desempenho das *wetlands* para ciclos de batelada (alimentação/descanso) de 7-14 (fase 01) e 3,5-7 (fase 02) dias, através dos parâmetros de pH, DBO₅, DQO e Nitrogênio Amoniacal.

5.1. Potencial Hidrogênioônico (pH)

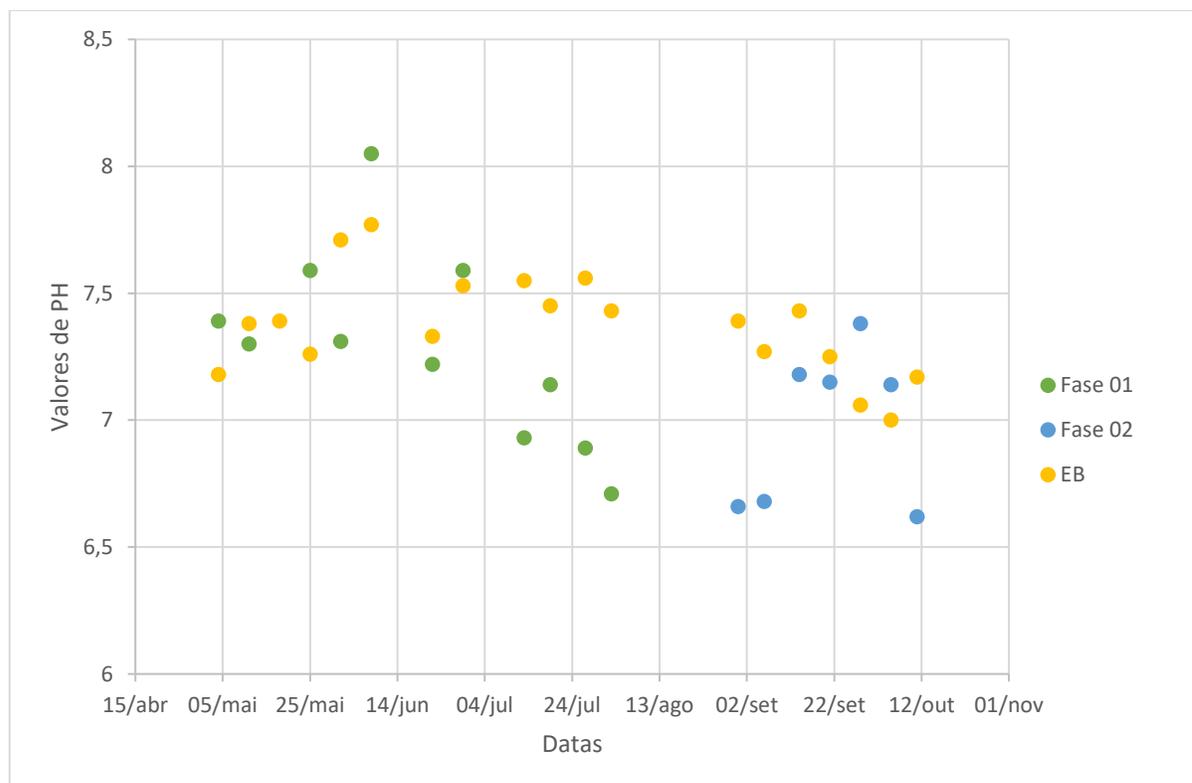
A tabela 01 e a figura 21 apresentam os valores de pH obtidos para os diferentes ciclos de *wetlands*, durante um período de 19 semanas.

Tabela 1 - Valores de pH para as fases do sistema de *wetlands*.

FASE 01		
DATA	E. BRUTO	WETLANDS
04/MAI	7,18	7,39
11/MAI	7,38	7,30
18/MAI	7,39	8,57
25/MAI	7,26	7,59
01/JUN	7,71	7,31
08/JUN	7,77	8,05
22/JUN	7,33	7,22
29/JUN	7,53	7,59
13/JUL	7,55	6,93
19/JUL	7,45	7,14
27/JUL	7,56	6,89
02/AGO	7,43	6,71
MÉDIA	7,46	7,39
FASE 02		
DATA	E. BRUTO	WETLANDS
31/AGO	7,39	6,66
06/SET	7,27	6,68
14/SET	7,43	7,18
21/SET	7,25	7,15
28/SET	7,06	7,38
05/OUT	7,00	7,14
11/OUT	7,17	6,62
MÉDIA	7,22	6,97

Fonte: Do Autor (2017)

Figura 19 - Comparação dos valores de pH para as duas fases do sistema de wetlands e esgoto bruto (EB).



Fonte: Do Autor (2017)

Através do método estatístico de análise de variância, foi possível comparar os valores de pH para os dois ciclos, conforme a tabela 02. Concluiu-se que não houve diferença significativa para as fases de funcionamento do sistema estudado quanto a esse parâmetro.

Tabela 2 - Análise dos valores de pH para as fases de funcionamento das *wetlands* através do método da análise de variância (F).

Fase 01 (G1)		Fase 02 (G2)	
7,39		6,66	
7,3		6,68	
8,57		7,18	
7,59		7,15	
7,31		7,38	
8,05		7,14	
7,22		6,62	
7,59		-	
6,93		-	
7,14		-	
6,89		-	
6,71		-	
Média G1	7,391	Média G2	6,973
Variância G1	0,267	Variância G2	0,096
N	12	-	7
K	2	-	-
Elementos Nt	19		
Somatório G1	88,690		
Somatório G2	48,810		
X	7,237		
Sw	0,207		
Sb	0,772		
F	3,737		
v1	1	Fc = 4,451	F < Fc
v2	17		

Fonte: Do Autor (2017)

5.2. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅)

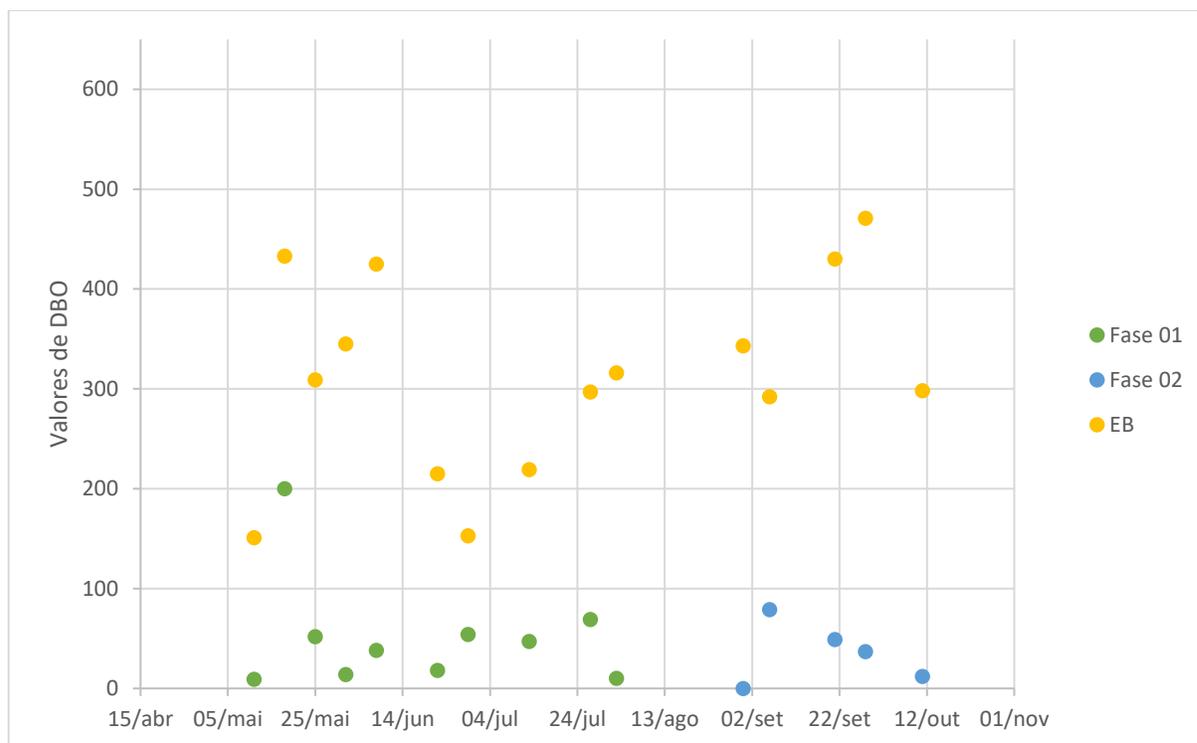
Os valores de DBO₅ obtidos através das análises, para as *wetlands* e o esgoto bruto, assim como a eficiência diária e média, podem ser observados na Tabela 03. A figura 22 apresenta um gráfico relacionando os valores de DBO₅ para as fases de funcionamento das *wetlands*.

Tabela 3 - Valores de DBO₅ para as fases de funcionamento das *wetlands*.

FASE 01			
DATA	E. BRUTO	WETLANDS	EFICIÊNCIA %
11/MAI	151	9	94,04
18/MAI	433	200	53,81
25/MAI	309	52	83,17
01/JUN	345	14	95,94
08/JUN	425	38	91,06
22/JUN	215	18	91,63
29/JUN	153	54	64,71
13/JUL	219	47	78,54
27/JUL	297	69	76,77
02/AGO	316	10	96,84
MÉDIA	286,30	51,10	82,65
FASE 02			
DATA	E. BRUTO	WETLANDS	EFICIÊNCIA %
31/AGO	343	0	100,00
06/SET	292	79	72,95
21/SET	430	49	88,60
28/SET	471	37	92,14
11/OUT	298	12	95,97
MÉDIA	366,80	35,40	89,93

Fonte: Do Autor (2017)

Figura 20 - Comparação dos valores de DBO₅ para as duas fases do sistema de *wetlands* e para o esgoto bruto (EB).



Fonte: Do Autor (2017)

De acordo com a análise estatística realizada chegou-se à conclusão que para as fases de funcionamento das *wetlands* não houve diferença significativa quanto a remoção de DBO₅, como segue na Tabela 04.

Contudo, no que se refere a capacidade de remoção desse parâmetro comparado ao Esgoto Bruto que chega na ETE, mais uma vez fica evidente a grande capacidade do sistema, que na fase 01 removeu 82,65% e na fase 02, 89,93%, conforme pode ser visto na Tabela 03.

Tabela 4 - Análise dos valores de DBO5 para as fases de funcionamento das *wetlands* através do método de variância (F).

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (F)			
Fase 01 (G1)		Fase 02 (G2)	
9		0	
200		79	
52		49	
14		37	
38		12	
18		-	
54		-	
47		-	
69		-	
10		-	
-		-	
Média G1	51,100	Média G2	35,400
Variância G1	3180,322	Variância G2	972,300
N	10	-	5
K	2	-	-
Elementos Nt	15		
Somatório G1	511,000		
Somatório G2	177,000		
X	45,867		
Sw	2500,931		
Sb	821,633		
F	0,329		
v1	1	Fc=4,667	F < Fc
v2	13		

Fonte: Do Autor (2017)

5.3. Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Os dados de DQO analisados para os ciclos de funcionamento das *wetlands* e do esgoto bruto. Os dados da eficiência e a análise estatística são ilustrados na Tabela 05 e na figura 23.

Tabela 5 - Valores de DQO para as fases de funcionamento das *wetlands*.

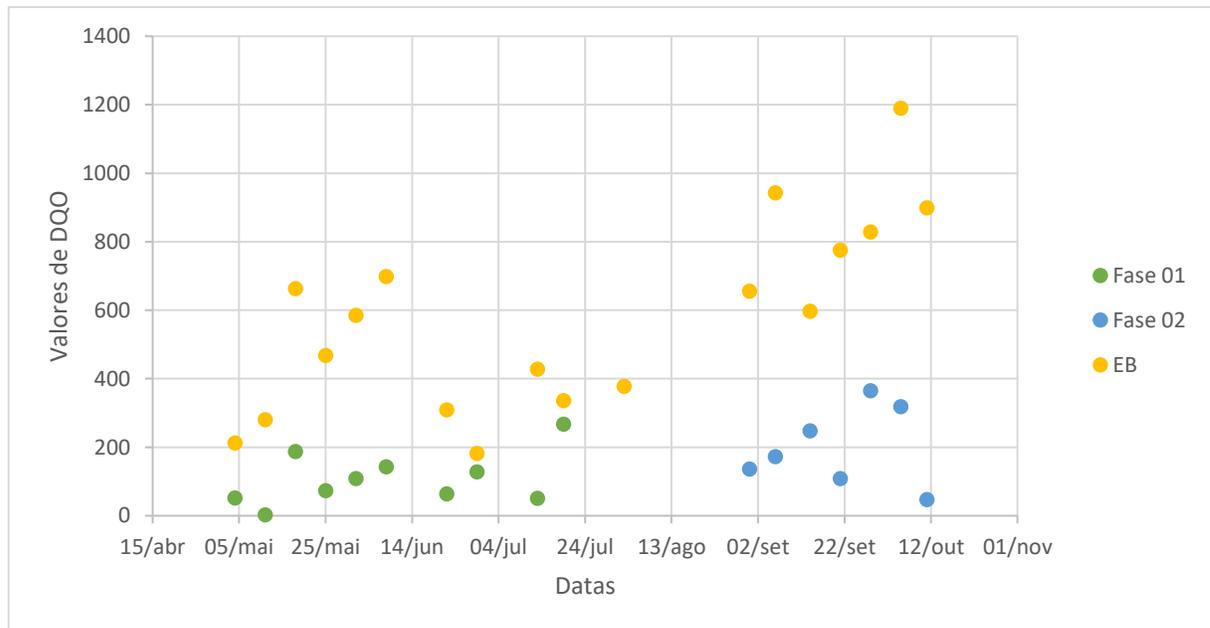
FASE 01			
DATA	E. BRUTO	WETLANDS	EFICIÊNCIA %
04/MAI	213	52	75,59
11/MAI	281	3	98,93
18/MAI	663	188	71,64
25/MAI	468	73	84,40
01/JUN	585	109	81,37
08/JUN	699	143	79,54
22/JUN	309	64	79,29
29/JUN	182	128	29,67
13/JUL	428	51	88,08
19/JUL	336	268	20,24
27/JUL	16*	646*	-
02/AGO	378	65	82,80
MÉDIA	412,91	104,00	71,96
FASE 01			
DATA	E. BRUTO	WETLANDS	EFICIÊNCIA %
31/AGO	656	137	79,12
06/SET	943	173	81,65
14/SET	597	248	58,46
21/SET	776	109	85,95
28/SET	829	365	55,97
05/OUT	1190	319	73,19
11/OUT	899	47	94,77
MÉDIA	841,43	199,71	75,59

Fonte: Do Autor (2017)

Os valores do dia 27/jul foram desconsiderados, verificou-se que os dados de DQO para esse dia ficaram totalmente fora da faixa dos valores encontrados em análises anteriores, tanto para as *wetlands*, como para o esgoto bruto. Pode ter sido ocasionado

algum problema durante a realização do ensaio. Portanto, para não prejudicar a análise, resolveu-se não os considerar.

Figura 21 - Comparação dos valores de DQO para as duas fases do sistema de *wetlands* e esgoto bruto (EB)



Fonte: Do Autor (2017)

Assim como foi feito para pH e DBO5, também se utilizou o método estatístico da análise de variância para comparar os valores de DQO obtidos para as diferentes fases das *wetlands*. Para esse parâmetro também não tivemos diferença significativa quanto as fases de funcionamento do sistema. Em referência a capacidade de remoção de DQO, houve uma redução de 71,96% para fase 01 e 75,59% para fase 02, com relação ao esgoto bruto. Portanto, se percebe a capacidade do sistema em tratar os efluentes quanto a esse parâmetro.

Tabela 6 - Análise dos valores de DQO para as fases de funcionamento das *wetlands* através do método da análise de variância (F).

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (F)			
Fase 01		Fase 02	
52		137	
3		173	
188		248	
73		109	
109		365	
143		319	
64		47	
128		-	
51		-	
268		-	
65		-	
-		-	
Média G1	104,000	Média G2	199,714
Variância G1	5587,000	Variância G2	13346,238
N	11	-	7
K	2	-	-
Elementos Nt	18		
Somatório G1	1144,000		
Somatório G2	1398,000		
X	141,222		
Sw	8496,714		
Sb	39189,683		
F	4,612		
v1	1	Fc=4,494	F < Fc
v2	16		

Fonte: Do Autor (2017)

5.4. Nitrogênio Amoniacal

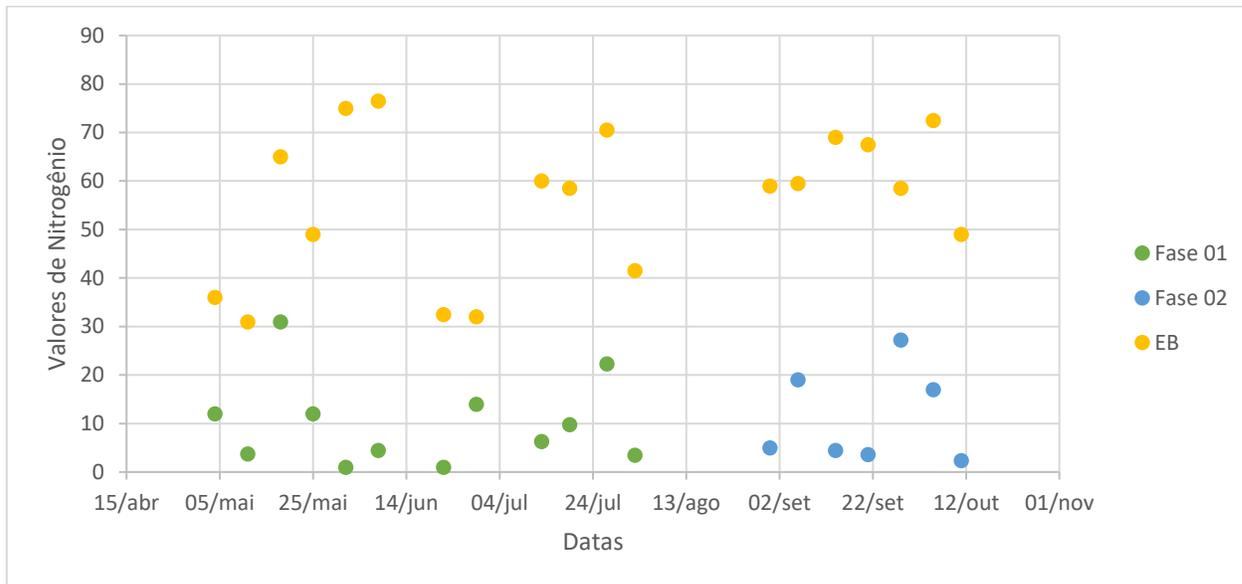
Os valores de Nitrogênio Amoniacal das *wetlands* e do esgoto bruto analisado, assim como a eficiência do sistema, são mostrados na Tabela 07 e a figura 24.

Tabela 7 - Valores de Nitrogênio Amoniacal para as fases de funcionamento das *wetlands*.

FASE 01			
DATA	WETLANDS	E. BRUTO	EFICIÊNCIA %
04/MAI	12	36	66,67
11/MAI	3,75	31	87,90
18/MAI	31	65	52,31
25/MAI	12	49	75,51
01/JUN	1	75	98,67
08/JUN	4,5	76,5	94,12
22/JUN	1	32,5	96,92
29/JUN	14	32	56,25
13/JUL	6,3	60	89,50
19/JUL	9,8	58,5	83,25
27/JUL	22,3	70,5	68,37
02/AGO	3,5	41,5	91,57
MÉDIA	10,10	52,29	80,09
FASE 02			
DATA	WETLANDS	E. BRUTO	EFICIÊNCIA %
31/AGO	5	59	91,53
06/SET	19	59,5	68,07
14/SET	4,5	69	93,48
21/SET	3,6	67,5	94,67
28/SET	27,2	58,5	53,50
05/OUT	17	72,5	76,55
11/OUT	2,4	49	95,10
MÉDIA	11,24	62,14	81,84

Fonte: Do Autor (2017)

Figura 22 - Comparação dos valores de Nitrogênio Amoniacal para as duas fases do sistema de wetlands e esgoto bruto (EB).



Fonte: Do Autor (2017)

Partindo do mesmo método estatístico já citado anteriormente, foi averiguado que para remoção de Nitrogênio Amoniacal não houve diferença relevante no que se refere à remoção desse parâmetro (Tabela 08), nos ciclos de funcionamento das *wetlands*. No que concerne remoção de nitrogênio, a capacidade do sistema para a fase 01 foi de 80,09% e para fase 02 81,84%.

Tabela 8 - Análise dos valores de Nitrogênio para as fases de funcionamento das *wetlands*, através do método de variância (F).

ANÁLISE DE VARIÂNCIA (F)			
Fase 01		Fase 02	
12		5	
3,75		19	
31		4,5	
12		3,6	
1		27,2	
4,5		17	
1		2,4	
14		-	
6,3		-	
9,8		-	
22,3		-	
3,5		-	
Média G1	10,096	Média G2	11,243
Variância G1	82,134	Variância G2	94,833
N	12	-	7
K	2	-	-
Elementos Nt	19		
Somatório G1	121,150		
Somatório G2	78,700		
X	10,518		
Sw	86,616		
Sb	5,817		
F	0,067		
v1	1	Fc=4,451	F < Fc
v2	17		

Fonte: Do Autor (2017)

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Concluiu-se que não houve diferença significativa no sistema de *wetlands* funcionando em bateladas nos dois ciclos estudados. Isso foi observado comparando-se as eficiências de remoção dos parâmetros analisados no efluente final do sistema. Portanto, pode-se trabalhar em ciclos de 7-14 dias ou 3,5 -7 dias e obter um resultado satisfatório.

Notou-se que no ciclo de 3,5 dias de funcionamento a planta utilizada no sistema desenvolveu-se melhor, conforme apresentam as Figuras 19 e 20, talvez nessa fase de funcionamento por passar menos tempo em descanso, a planta pode ter absorvido mais matéria orgânica, o que favoreceu o seu crescimento. Esta análise precisa de ensaios mais aprofundados, podendo se tornar objeto de estudo para outro trabalho. No que se refere a eficiência do sistema como um todo, ficou evidente a adequabilidade dessa tecnologia na remoção de DBO₅, DQO e Nitrogênio Amoniacal.

Enfim, o sistema de *wetlands* apresentou resultados adequados, podendo ser utilizado nas residências como alternativa de tratamento de esgoto, já que se trata de uma tecnologia simples, eficiente e de baixo custo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, H, H, B de. **Avaliação do desempenho de sistemas de zona de raízes (*wetlands* construídas) em escala piloto aplicados ao tratamento de efluente sintético.** 2012. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

BARACUHY, M, P. **Desempenho operacional do módulo 2 da estação de tratamento de esgotos de mangabeira na grande João Pessoa.** 2006. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006.

FAISSAL, A, A. **Sistema construtivo alternativo para wetland de fluxo horizontal empregado no tratamento de esgoto de restaurante universitário.** 2016. 71 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica do Paraná, Londrina, 2016.

FREITAS, M, N de. **Avaliação do *start up* de wetland construído vertical descendente com fundo saturado no tratamento de esgoto sanitário.** 2015. 81 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

FUNDAÇÃO BRASILEIRA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL - FBDS. **Controle de qualidade de água através de sistemas de *wetlands* construídos.** Rio de Janeiro, 2007.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Saneamento no Brasil.** Disponível em <<http://www.tratabrasil.org.br/saneamento-no-brasil>>. Acesso em setembro de 2017.

KOHLGRÜBER, V. **Planning of a constructed wetland for municipal wastewater treatment.** 2017. 12 f.

MELO, J, F. *et al.* **Dimensionamento comparativo de lagoas versus wetlands para o tratamento de esgoto em bairro de Campos Novos, SC.** 2013. 16 p. Joaçaba, 2013.

MOLLE, P. *et al.* **How to treat raw sewage with constructed wetlands: na overview of the French systems.** Water Science & Technology, v. 51, p. 11-21, 2005.

OLIVEIRA JÚNIOR, L, H de. **Uso do filtro de areia na adequação do efluente da ETE mangabeira para ultrafiltração.** 2017. 71 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2017.

ORMONDE, V, S, da S. **Avaliação de ‘wetlands’ construídos no pós-tratamento de efluente de lagoa de maturação.** 2012. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental) – Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2012.

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

PRIGENT, S. *et al.* **Biological characterization and treatment performances of a compact vertical flow constructed wetland with the use of expanded schist.** Ecological Engineering, 2013. 7 p. 2013.

SALATI, E. *et al.* **Utilização de sistema de wetlands construídas para tratamento de águas.** 2009. 23 p. Piracicaba, 2009.

SILVA, S, C da. **“Wetlands Construídos” de fluxo vertical com meio suporte de solo natural modificado no tratamento de esgotos domésticos.** 2007. 231 f. Monografia (Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO SOBRE SANEAMENTO – SNIS. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2015.** Disponível em <<http://www.snis.gov.br>>. Acesso em outubro de 2017.