

II-453 - PROPOSIÇÃO DE ALAGADO CONSTRUÍDO (WETLAND) COMO TRATAMENTO TERCIÁRIO DE EFLUENTE ANAERÓBIO DE COMUNIDADE UNIVERSITÁRIA NO SEMI-ÁRIDO

Leonete Cristina de Araújo Ferreira Medeiros Silva ⁽¹⁾

Tecnóloga em Meio Ambiente pelo Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN). Engenheira Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PPGES/UFRN). Professora Assistente da Universidade Federal Rural do Semi-árido (UFERSA). Consultora da COPASA-MG. Doutoranda em Engenharia Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PPGEQ/UFRN).

Paulino Cavalcante Pinheiro Sobrinho ⁽²⁾

Engenheira Civil pela Escola de Engenharia Kennedy. Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Consultora da COPASA-MG. Doutoranda em Hidráulica e Saneamento na EESC/USP.

Ana Cláudia de Araújo Fernandes ⁽³⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Mestre em Uso Sustentável de Recursos Naturais pelo Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN). Professora Substituta da Universidade Federal Rural do Semi-Árido do Rio Grande do Norte (UFERSA).

Endereço⁽¹⁾: Av. Universitária Leto Fernandes, km 01 – Sítio Esperança II – Caraúbas – RN – CEP59780-000-Brasil - Tel: (84) 3317-8505 - e-mail: leonete.cristina@ufersa.edu.br

RESUMO

O uso de Wetlands (W) é uma oportunidade de atenuar os impactos ambientais negativos e produzir água de reuso em condições favoráveis a atividades que exijam mais qualidade. O presente trabalho de conclusão traz como objetivo geral a implementação de um sistema W aplicado ao pós-tratamento de efluente de uma Estação de Tratamento de Esgoto de comunidade universitária, distinguir as diversas modalidades de sistemas de alagados, estudar a viabilidade de implementação e realizar o dimensionamento da configuração escolhida. Para a realização deste trabalho foi desenvolvida pesquisa bibliográfica a partir de publicações nacionais. A partir disto foi possível realizar o pré-dimensionamento de uma Wetland. Verificou-se que a configuração escolhida é viável para implementação, partindo de critérios existentes pretendidos e da necessidade de melhoria no esgoto tratado. O dimensionamento oportuniza propostas de pesquisas futuras que irão demonstrar os reais impactos positivos, econômicos e sócio-ambientais que um sistema de alagados pode proporcionar à população e ao meio ambiente.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de esgoto, Alagado construído, Dimensionamento.

INTRODUÇÃO

O semiárido brasileiro apresenta características climáticas e sociais adversas de modo prezar presar pela sustentabilidade é essencial para a sobrevivência das populações. Os problemas são de ordem da disponibilidade quantitativa e qualitativa de recursos hídricos. Assim, evitar o descarte de águas como potencial e reuso aparece com uma perspectiva que precisa ser estudada. Alagados construídos (wetlands) são utilizadas em diversas regiões geográficas como solução de polimento de efluentes para proporcionar o reuso dessa água como forma de minimizar o problema da escassez hídrica.

No Brasil, pesquisas iniciais foram realizadas desde a década de 80 com objetivo de melhorar a qualidade das águas e controlar a poluição. Após o ano 2000, no país ocorrerão diversas aplicações de sistema de wetland em todo território nacional, nas mais variadas configurações, incluindo diferentes materiais filtrantes e macrófitas empregadas (SEZERINO et al., 2015). Nesse sistema, simula-se um ecossistema natural reproduzido em um ambiente diferente onde mecanismos básicos de ecologia são manipulados através de princípios de engenharia civil e sanitária. Apresentam baixo custo, de fácil operação e manutenção, e têm um grande potencial para

aplicação em países em desenvolvimento, quando comparado a tratamentos convencionais, particularmente em pequenas comunidades rurais (DORNELAS, 2008).

No contexto do trabalho, a população atendida pela estação de tratamento de efluentes é composta por estudantes universitários, professores, técnicos, terceirizados e eventuais membros da comunidade local. Atualmente o sistema é composto pelo tratamento preliminar, primário e secundário. Ao nível secundário, é realizada pela tecnologia de reator anaeróbio de manta de lodo (UASB), ou seja, ainda necessita de polimento para tornar esta água residuária passível de reuso para fins de cultivo agrícola.

Em regiões de climas tropical e subtropical, a digestão anaeróbia é uma solução econômica e confiável no tratamento de esgotos sanitários. No entanto, após o processo anaeróbio o efluente detém característica tais como gases dissolvidos, matéria orgânica, sólidos suspensos, nutrientes (fósforo e nitrogênio) e organismos patogênicos. Desse modo, necessitam de um pós-tratamento. Considerar o wetland com uma opção é interessante pois na unidade wetland projetada para utilizar plantas aquáticas em substratos através de processos biológicos, químicos e físicos, tratam águas residuárias (SOUSA et al., 2000).

No estudo de Sousa et al. (2000), foi verificado que os sistemas “wetlands” funcionaram de forma satisfatória. Ocorreu verificação da operação do sistema ao longo de 26 (vinte e seis) semanas, sendo verificada que a eficiência de remoção de matéria orgânica (DQO) variou de 79 a 84%, enquanto que para nitrogênio total e fósforo essa percentagem foi de 76 a 87 % e de 78 a 100% portanto, pode-se considerá-los eficientes no pós-tratamento de esgotos sanitários pré-tratados anaerobiamente. Além disso, o wetland com menor carga hidráulica apresentou a maior eficiência de remoção, tanto de matéria orgânica, quanto de nutrientes. Por fim, verificou-se a remoção do fósforo com eficiência de 100%.

Segunda Sezarino et al. (2015), dada a diversidade de combinações aplicáveis aos wetlands construídos, não há ainda no Brasil uma tendência de padronização de uso, tampouco de nomenclatura, sendo possível encontrar na literatura diversas denominações, tais como: zona de raízes, filtros plantados com macrófitas, sistemas alagados construídos, leitos cultivados, banhados construídos, biofiltros com macrófitas, entre outros.

Assim, diferentes elementos devem ser considerados como parâmetros de projeto e na determinação da composição dos wetlands construídos. O presente trabalho visa estudar os diversos tipos de wetlands verificando suas características, composições e eficiências, de modo a estabelecer um modelo-proposta de implantação como unidade de tratamento terciário de efluente anaeróbio de uma comunidade universitária.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

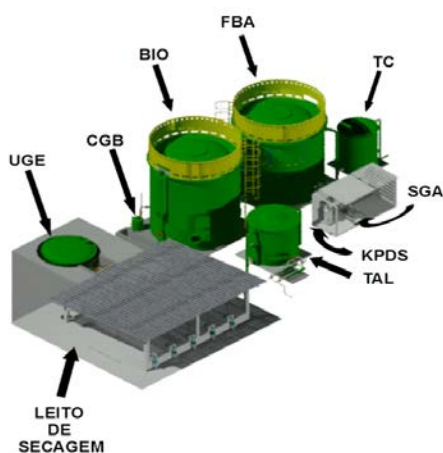
O sistema a ser implantado será disposto na região geográfica localizada nas coordenadas geográficas 5°46'20.91"S e 37°34'2.53", no estado do Rio Grande do Norte (Figura 01). Localiza-se no município de Caraúbas/RN, sob domínio subclimático semiárido com características de 6 meses secos, podendo chegar a 7 e 8 meses, cujo clima denomina-se Tropical do Nordeste Oriental.

A UFERSA campus Caraúbas conta atualmente com um sistema de tratamento de esgoto o qual é composto por uma Unidade de Gradeamento e Elevatória (UGE), seguida de um Sistema de Recalque de Esgoto bruto (SER), passando por um Reator Anaeróbio de Manta de Lodo (BIO), unido por um Filtro Biológico aerado submerso com Decantador Secundário acoplado (FBA) com Sistema de geração do ar (SGA), Sistema de Desinfecção por Cloro e por último adensamento de lodo e leito de secagem, conforme esquematizado na Figura 02.

Segundo o manual de operações, o sistema possui uma estimativa de vazão média para sua maior capacidade de 7,56 m³/h, com eficiência no tratamento em torno de 85-95% de matéria carbonácea e sólidos em suspensão, além de eliminação de organismos patogênicos. As a seguir ilustram a composição e localização da ETE presente na UFERSA. A unidade ainda não atingiu sua capacidade máxima, atualmente o sistema trata cerca de 0,56 m³/h, portanto atingindo somente cerca de 8% da sua capacidade total.



Figura 01: Localização Geográfica da Área de Implantação.



BIO – Reator Anaeróbico de Manta de Lodo.
 CGB – Coletor de Gases Biofiber.
 FBA – Filtro Biológico Aerado.
 KPDS – Kit de Preparação e Dosagem de Soluções.
 SGA – Sistema de Geração do Ar.
 TAL – Tanque de Adensamento de Lodo.
 TC – Tanque de Contato.
 UEG – Unidade de Gradeamento Elevatória.

Figura 02: Sistema ETE Ufersa Caraúbas. Fonte: (Manual de Operações A&E, 2013).

ESCOLHA DO TIPO DE ALAGADO CONSTRUÍDO

De forma direta o manual da FUNASA/Sabesp (BENASSI, 2018) define como Wetlands Construídas (WC), ou sistema alagado construído, sendo um sistema alagado desenvolvido para o tratamento ou polimento de águas residuárias, principalmente águas oriundas do esgoto sanitário. As WC podem ter duas finalidades básicas, uma está na melhoria da qualidade de corpos pluviais, a outra, a qual será destaque neste trabalho, está no polimento ou tratamento de esgoto sanitário. Podem ser classificadas em função do tipo de escoamento, como pode ser observado na Figura 03.

Dentre as principais vantagens e desvantagens na aplicação de um sistema de Wetlands Construídas listam-se principalmente a baixa manutenção em comparação a outros sistemas de tratamento, além de serem esteticamente integrado a paisagem com baixo custo de implantação e o não uso de produtos químicos (SILVA, 2009).

De acordo com Mannarino (2003), nos Wetlands de Fluxo Superficial (WCFS), a água passeia pela superfície do meio filtrante fluindo por entre os caules e as folhas da vegetação (Figura 5). Estes sistemas possuem como propriedades a variação do consumo de oxigênio em função da massa líquida, semelhantes às lagoas facultativas, sendo que na superfície prevalecem a presença de algas planctônicas ou filamentosas, ou macrófitas aquáticas. As zonas mais profundas tendem a ser dominadas por processos anaeróbios na ausência de luz (IWA, 2000). Esse tipo de sistema principalmente para tratamento terciário de efluente com foco na remoção de nutrientes, em especial o fósforo. Logo, para a utilização de uma WCFS é preciso etapas preliminares de tratamentos de efluentes. É importante destacar que este tipo de sistema pode ou não possuir substrato, sendo necessário no caso do não uso a aplicação exclusiva de macrófitas flutuantes, como por exemplo a Aguapé (BENASSI, 2018).

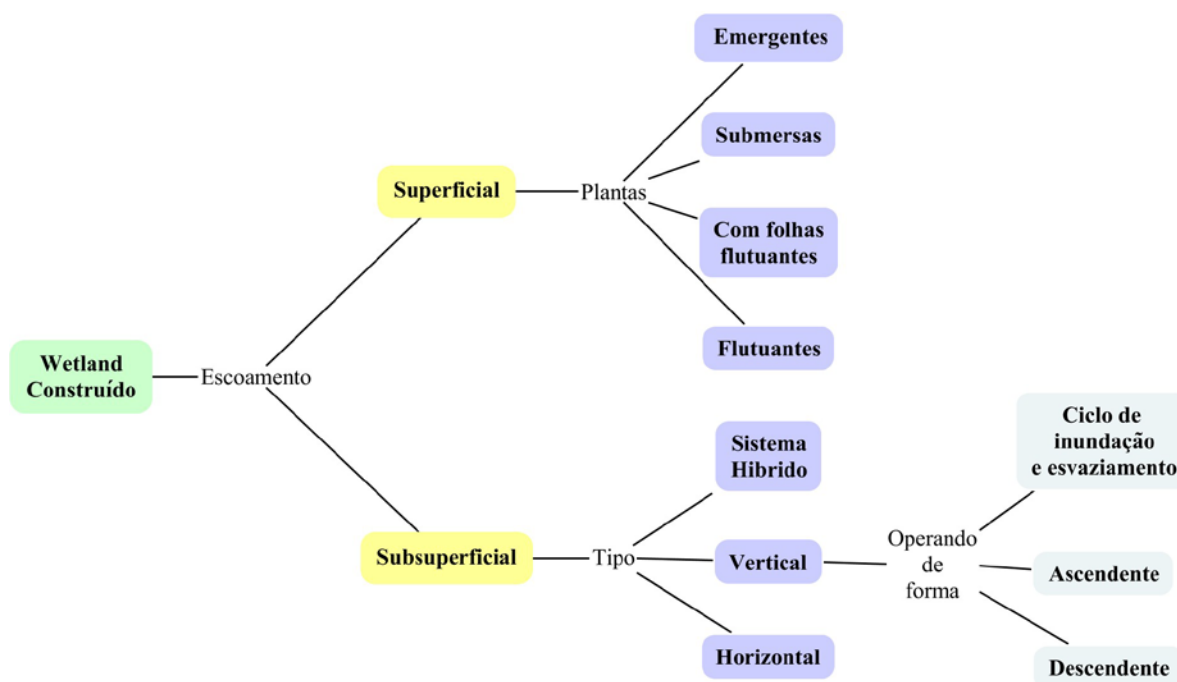


Figura 03: Classificação de Alagado Construído Wetland (Adaptado de SEZERINO et al., 2015)

Uma pesquisa realizada por Kadlec e Knight (1996) o sistema WCFS pode alcançar até 90% de remoção de DBO em águas oriundas de esgotos domésticos, em um período de detenção de 7 dias. Para quaisquer outros corpos d'água é preciso um tempo de detenção de 14 dias para se obter sua máxima eficiência.

Conforme Benassi (2018), as Wetland Construída de Fluxo Horizontal (WCFH) o efluente percola em uma trajetória horizontal pelos vazios do substrato até atingir a saída do sistema, onde é coletada por dispositivo de controle de nível. Seu uso é recomendado para o tratamento secundário de esgoto sanitário com foco na remoção de matéria orgânica e sólidos suspensos. explana que para este tipo de sistema empregado no Brasil faz-se o uso específico de macrófitas. As espécies são *Typha sp.* (Taboa) e a *Eleocharis sp.* (Junco), pois se adaptam muito bem a zonas ricas em matéria orgânica pois possuem a capacidade de acúmulo desta matéria.

No segundo grupo, ainda segundo Benassi (2018), nas Wetlands Construída de Fluxo Subsuperficial (WCFSS) o líquido é drenado por gravidade, horizontalmente ou verticalmente, através de um substrato, penetrando nos poros do material filtrante e entrando em contato com organismos que vivem em associação ao substrato e as raízes das plantas. O princípio básico deste sistema é a formação de um biofilme aderido nas raízes e substrato onde organismos aeróbios e anaeróbios irão limpar o corpo d'água. O sistema WCFSS ainda pode ser subdividido em sistema híbrido de tratamento, neste caso faz-se uso da mesclagem do sistema WCFH com o WCFV.

O sistema Wetland Construída de Fluxo Subsuperficial Vertical (WCFV) funciona como um filtro vertical, seu escoamento ocorre pelo substrato de forma homogênea entre os vazios do material até atingir a camada mais inferior, onde o fluido será coletado por tubulações. Este sistema em semelhança ao WCFH, as macrófitas

devem ser plantadas diretamente no material suporte, o efluente inunda toda a superfície do módulo percolando verticalmente. Para esta configuração várias espécies de macrófitas podem ser empregadas além de alguns tipos de algas. Das espécies mais empregadas estão a *Phragmites australis* (Caniço-de-água), *Typha spp.* (Taboa), *Juncus spp.* (Junco) e a *Cyperus papyrus spp.* (Papiro Brasileiro).

A maior vantagem de uma WCFV está na distribuição do esgoto em uma área de entrada maior e o uso de volume de filtro mais eficiente, resultando em uma necessidade de área menor (SEZERINO, 2006). Recomendado usar para tratamentos de polimento de esgoto tratado com o foco na remoção de nutrientes como o nitrogênio e o fósforo, sendo o nitrogênio removido com maior eficiência neste sistema. Como principal desvantagem tem-se que alimentação deve ocorrer com interrupções de carga do efluente em períodos curtos, seguido de intervalos longos de descanso do substrato. Em comparação com WCFH, a principal vantagem de uma WCFV está em uma maior taxa de transferência de oxigênio da atmosfera para o sistema, em decorrência as interrupções do carregamento do sistema. Portanto, as condições aeróbias favorecem a ocorrência de nitrificação (BENASSI, 2018).

Os sistemas híbridos de WC são combinações de WCFH com WCFV, unindo, portanto, nesta configuração as vantagens de ambos os fluxos e potencializando a eficiência no tratamento do esgoto.

DIMENSIONAMENTO

Diante do exposto anteriormente, o dimensionamento da Wetland a ser implantada partiu em função das características da ETE, topografia e da área disponível, avaliando as características do tipo de sistema que melhor se aplica ao esgoto tratado da unidade. O método de dimensionamento empregado baseia-se na metodologia proposta por Benassi et al. (2018), esquematizada no esquema da Figura 04 a seguir e elaborada para fins de melhor compreensão.

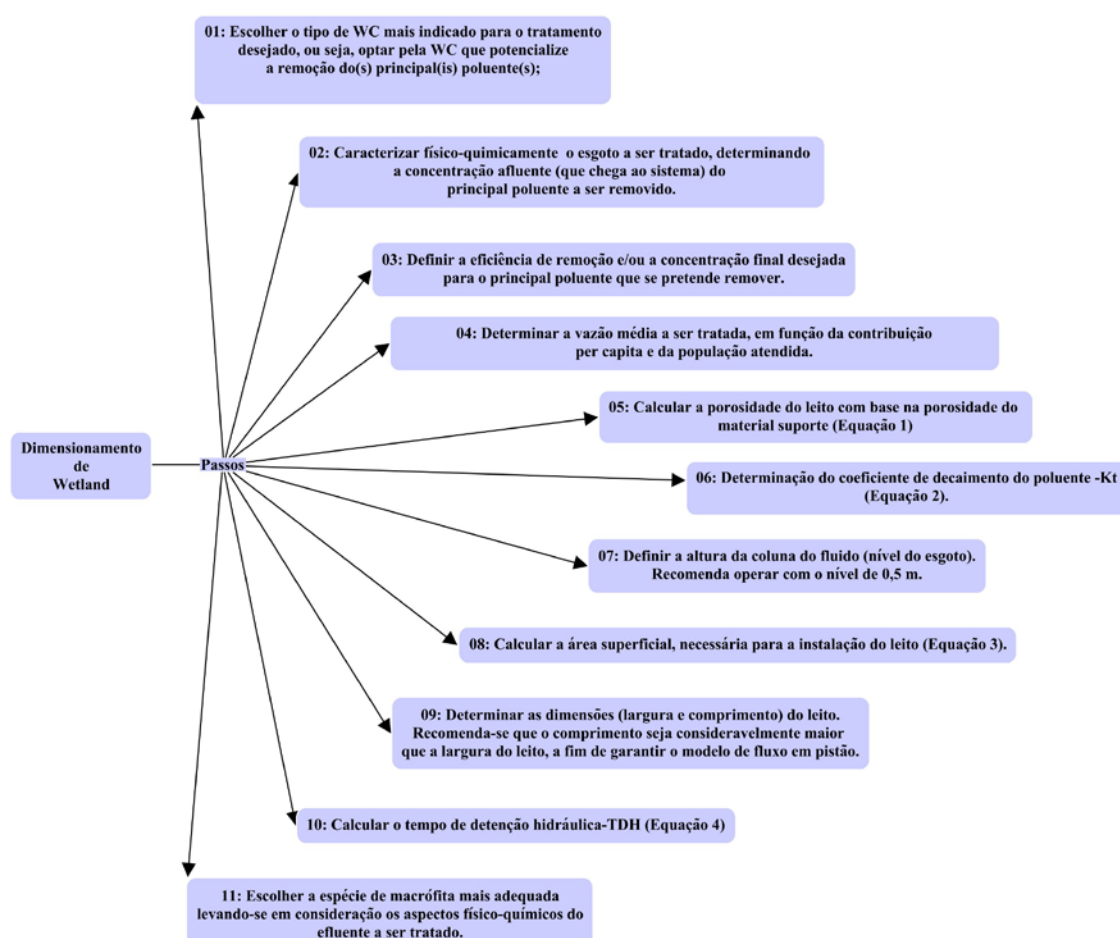


Figura 04: Metodologia de dimensionamento Wetland (Adaptado de Benassi, 2018)

As equações referidas na Figura 04 são as seguintes:

$$P = \frac{V_t - V_s}{V_t}$$

equação (1)

Onde: P - Porosidade do leito (%); V_t - Volume útil total do leito (m^3); V_s - Volume de sólidos presentes no leito (m^3).

$$K_T = K_{20}(\theta)^{(T-20)}$$

equação (2)

Onde: K_{20} - Constante de decaimento a 20°C (d-1); θ - Coeficiente de temperatura; T - Temperatura da WC (°C).

$$A_s = \frac{Q_{med} \cdot \ln\left(\frac{C_a}{C_e}\right)}{K_T \cdot h \cdot p}$$

equação (3)

Onde: A_s - Área superficial do leito (m^2); Q_{med} - Vazão média através do leito (m^3/d); C_a - Concentração de entrada do poluente no efluente (mg/L); C_e - Concentração de saída do poluente no efluente (mg/L); h: Altura do nível de esgoto (m); K_T - Coeficiente de decaimento do poluente (d-1); P - Porosidade do leito (%).

$$TDH = \frac{l \cdot c \cdot h \cdot p}{Q_{med}}$$

equação (4)

Onde: TDH - Tempo de detenção hidráulica (d); l - Largura do leito (m); c - Comprimento de leito (m); h - Altura do nível de esgoto (m).

RESULTADOS

A escolha do sistema Wetland Construída partiu dos seguintes critérios a seguir, a Tabela 01 mostra o perfil da WC escolhido e os parâmetros determinados:

- O sistema ETE da UFERSA não remove nutrientes presentes no esgoto;
- O despejo do efluente é realizado em uma vala presente próximo à ETE;
- A geração de esgoto é considerável, possuindo vazão suficiente para implementação de uma WC para um sistema terciário de tratamento; e,
- Possui área e clima adequados para implantação do sistema;

Tabela 01: Determinação dos parâmetros para elaboração do perfil da WC.

Tabela 01: Determinação dos parâmetros para elaboração do perfil do WC:						
Tipo de WC	Temperatura do sistema (°C)	Vazão do sistema ETE (m³/dia)	Coeficiente de decaimento (d ⁻¹)		Concentração de nutrientes (mg/L)	
WCFS	30	13,44	K ₂₀	θ	Entrada	Saída
			1,0	1,15	10	1
	Altura do fluido (m)	Porosidade	4,0455			
	0,5	1				
Cálculo da Área (m²)	Dimensões adotadas (m)		TDH (d)			
15,30	c	l	1,14			
	7,65	2,00				
Escolha da macrófita:			Aguapé			

Tendo em vista dados de estudos realizados sobre os tipos de esgotos, onde a concentração média de nitrato é cerca de 10 mg/L e que a eficiência de remoção de uma WCFS, sabendo que a ETE não realiza a remoção de nutrientes, pode chegar a 90% (KADLEC E KNIGHT, 1996). Então é possível realizar os cálculos para determinação da geometria da WC.

Portanto, a WC de fluxo superficial cultivada com macrófita aquática Aguapé, com dimensões de 7,65 m x 2,00 m e com tempo de detenção hidráulica de 1,14 dias tem a potencialidade de tratar o esgoto doméstico gerado pela comunidade da UFERSA Caraúbas, com eficiência de aproximadamente 90% de remoção de nutrientes. Baseado nos dados calculados propõe-se o seguinte esquema executivo, disposto na Figura 05.

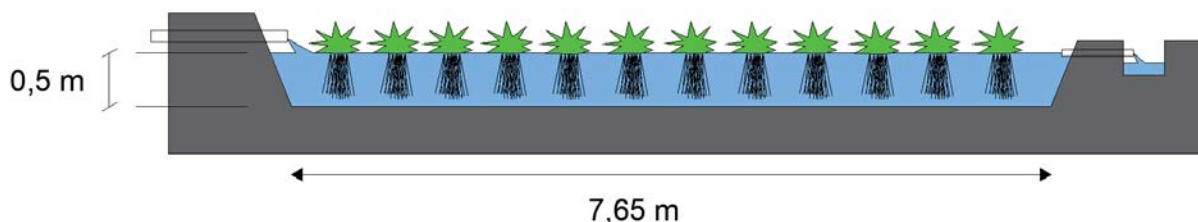


Figura 05: Esquema de WCFS proposta.

O terreno a jusante da ETE encontra-se com uma declividade bastante considerável para implantação deste sistema, porém é possível o aproveitamento da área onde foi executada uma vala para despejo do efluente, para a construção da WCFS faria necessário somente a impermeabilização do solo sem a necessidade de uma terraplanagem da área.

A comunidade se beneficiaria de um sistema simples e de grande impacto ambiental, ocupando uma área pequena e contribuindo para a produção de uma vida sustentável. Além de remover os poluentes presentes, o sistema Wetland também contribuem na redução de toxicidade das águas residuárias (BARSZCZ, 2017).

CONCLUSÕES

Como estudado, as WC podem ser aplicadas no tratamento dos diversos tipos de efluentes e com diversas configurações. Dependendo do tipo de remoção pretendido, deve-se seguir as configurações mínimas recomendadas, visando sempre alcançar a maior potencialidade do sistema.

No estudo realizado pôde-se perceber que é possível a implementação deste tipo de sistema na comunidade. O dimensionamento implicou na ocupação de uma área pequena se comparado a outros métodos de tratamento de esgoto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BARSZCZ, 2017. Avaliação ecotoxicológica de efluente doméstico tratado por alagados construídos. 2017. 105f. Dissertação (mestrado). Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental. Universidade Federal do ABC, Santo André, 2017.
2. BENASSI, R. F. (Org.). Manual de sistemas de wetlands construídas para o tratamento de esgotos sanitários: implantação, operação e manutenção. Universidade Federal do ABC. Ministério da Saúde. FUNASA. Sabesp: São Paulo, 2018.
3. DORNELAS, F. L. Avaliação do desempenho de wetlands horizontais subsuperficiais como pós-tratamento de efluentes de reatores UASB. Dissertação de mestrado do Programa de pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, UFMG. 2008.
4. IWA – International Water Association. Constructed Wetlands for Pollution Control: Processes, Performance, Design and Operation. Scientific and Technical Report No. 8. London, England: IWA Publishing, 2000. 156 p
5. KADLEC, R. H.; KNIGHT, R. L. Treatment wetlands. CRC. Boca Raton, FL, 1996. MANNARINO, C. F. Uso de wetland sub-superficial no tratamento de efluente de estação de tratamento de chorume por lodos

- ativados. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2003.
6. SEZERINO, P. H., BENTO, A. P., DECEZARO, S. T., MAGRI, M. E., PHILIPPI, L.S. Experiências brasileiras com wetlands construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais. Engenharia Sanitária e Ambiental, v.20, n.1, p. 154-158, jan/mar. 2015.
 7. SILVA, S. A. On the treatment of domestic Sewage in Waste Stabilization Ponds Northeast Brazil. PhD Thesis. University Of Dundee. U. K., 2009. 249 p
 8. SOUSA, J. T., VAN HAANDEL, A.C., COSENTINO, P. R. S., GUIMARÃES, A. V. A. Pós-tratamento de efluente de reator UASB utilizando sistemas “wetlands” construídos. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.4, n.1, p.87-91, 2000.