



DIMENSIONAMENTO DE *WETLANDS* CONSTRUÍDAS EM SISTEMAS INDIVIDUAIS DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO

Conrado Folle Weber*

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba – PR, Brasil.
Departamento Acadêmico de Química e Biologia
conradofolleweber@gmail.com

Marcelo Real Prado

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba – PR, Brasil.
Departamento Acadêmico de Química e Biologia
mrealprado@utfpr.edu.br

Tamara Simone van Kaick

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba – PR, Brasil.
Departamento Acadêmico de Química e Biologia
tamara.van.kaick@gmail.com

RESUMO

O cenário brasileiro, no que se refere à poluição dos rios e mananciais de abastecimento público, oferece à população condições precárias de saneamento básico. Há no país diversos registros de doenças de veiculação hídrica, além da escassez d'água em diversas regiões. Problemáticas resultantes da filosofia consumista do mundo atual, combinada à inviabilidade dos sistemas de tratamento de esgoto, assim como da má distribuição dos recursos naturais, ofertados pelo planeta. Visto isso, o presente artigo propõe um estudo de dimensionamento de wetlands construídas, em sistemas individuais de tratamento de esgoto sanitário. Busca-se, deste modo, estabelecer parâmetros mínimos de dimensionamento para padronizar a implantação de sistemas de fluxo vertical levando em consideração as limitações específicas de cada projeto. O estudo almeja contribuir à sociedade em geral, incentivando a utilização de soluções eficientes em saneamento ecológico, a fim de atender a necessidade social e ambiental de tecnologias voltadas à manutenção do meio ambiente, ao equilíbrio com a saúde humana, e a uma melhor preservação e distribuição de água no Brasil.

Palavras-chave: Saneamento básico. *Wetlands* construídas. Tecnologia socioambiental.

1 Introdução

Estimativas da Organização das Nações Unidas (ONU, 2014), contabilizam hoje, no planeta Terra, mais de 7 bilhões de habitantes, espalhados por toda área terrestre, onde se concentra a água

doce distribuída para o consumo humano em suas diversas atividades. O recurso, além de pertencer à pequena parcela de 3% do total de água do planeta, encontra-se cada vez mais escasso e potencialmente poluído.

Tendo consequência direta à população menos favorecida economicamente, como os marginalizados das grandes cidades e da área rural, este cenário aponta como causa o sistema econômico vigente, o qual se porta ambientalmente insustentável e socialmente excludente. Há de se alterar a consciência humana em busca de novos meios de desenvolvimento. As relações dos seres humanos com os diversos usos da água devem ser repensadas, assumindo responsabilidades individuais e coletivas, por um consumo consciente.

Em muitos municípios brasileiros, a falta de saneamento básico traz diversos problemas ambientais, com consequências à saúde humana. Os dejetos humanos são veículos de germes patogênicos causadores de várias doenças, como febres, diarreias infecciosas, amebíase, esquistossomose, teníase, ascaridíase, entre outras (FUNASA, 2006). Portanto, toda a população mundial, e principalmente os governos municipais, estaduais e o federal, carregam em conjunto a responsabilidade sobre a poluição das águas dos rios.

Em se tratando de esgoto sanitário lançado nos corpos hídricos, os principais agentes poluidores são: sólidos suspensos; matéria orgânica biodegradável; nutrientes, como fósforo e nitrogênio; patogênicos; sólidos dissolvidos e coloidais; compostos orgânicos voláteis; e odores (METCALF & EDDY, 2003).

Como solução mínima, é necessária uma efetiva remoção dos poluentes, a qual percorre por diversos níveis de tratamento, a fim de se obter os parâmetros exigidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. As cidades brasileiras, das quais possuem rede coletora de esgoto sanitário, utilizam o tratamento de maneira coletiva, reunindo todo o esgoto gerado pela população em uma única estação antes da sua devolução aos corpos receptores. Porém, no Brasil, segundo censo realizado pelo IBGE (2010), nem todos habitantes possuem rede coletora em suas residências, sendo necessário, neste caso, soluções individuais para cada domicílio.

O principal motivo para implantação de sistemas individuais de tratamento de esgoto é a existência de municípios em áreas inviáveis de se instalar uma rede coletora de abastecimento de água e de esgotamento sanitário. Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2012), apenas 38,7% do esgoto gerado no país é tratado, e 103 milhões de brasileiros não são conectados a rede de coleta de esgoto. Esta situação é comum em áreas rurais ou naquelas em expansão urbana, onde ainda não há rede de distribuição.

Outro problema que sugere uma eficácia maior no tratamento de esgoto é a escassez da água na Terra, onde a exploração exacerbada dos recursos naturais preocupa todos, alertando a população

para o desenvolvimento de tecnologias aptas ao tratamento e reutilização de suas águas, minimizando os impactos econômicos e sociais da falta d'água (PROSAB, 2006).

Neste contexto, a proposta do artigo é discorrer acerca do dimensionamento de *wetlands* construídas, como tratamento secundário, em sistemas individuais de tratamento de esgoto sanitário, visando alta eficiência de tratamento e parâmetros mínimos de dimensionamento para padronizar a implantação de sistemas de fluxo vertical levando em consideração as limitações específicas de cada projeto. Na posição de uma tecnologia socioambiental, o sistema busca um melhor manejo de água no planeta, combinando o consumo consciente dos recursos naturais com um cuidado efetivo do meio ambiente e da saúde humana.

2 Esgoto Sanitário e Wetlands Construídas

A caracterização do esgoto sanitário varia quantitativa e qualitativamente com a sua utilização. A contribuição de esgoto depende de inúmeros fatores, como a região atendida, atividades desenvolvidas, hábitos de higiene, nível socioeconômico, nível de cultura e outras causas comportamentais (JORDÃO, 2009).

Segundo Jordão (2009), as características físicas do esgoto são determinadas pela matéria sólida presente no efluente, temperatura, odor, cor, e pela turbidez. As características químicas se dividem em dois grandes grupos: da matéria orgânica e da matéria inorgânica. Já as biológicas se referem, principalmente, aos microrganismos presentes nas águas residuárias, assim como seus indicadores de poluição.

Para o tratamento do esgoto sanitário, são empregados operações e processos unitários, agrupados em diferentes níveis de tratamento. Os tratamentos preliminar e primário se referem às operações físicas unitárias, o tratamento secundário aos processos químicos e biológicos, e o tratamento terciário se refere à combinação dos três (METCALF & EDDY, 1991).

Para Metcalf e Eddy (1991), os tratamentos secundários são direcionados, principalmente, para remoção de orgânicos biodegradáveis e sólidos suspensos. O tratamento secundário convencional é definido como a combinação de processos usados na remoção destes constituintes e incluem tratamento biológico por lodos ativados, reatores biológicos, sistemas de lagoas e sedimentação.

Um sistema individual de tratamento de esgoto sanitário deve possuir todos os níveis de tratamento necessários, para remoção máxima dos poluentes. Diferentes formas de tratamentos secundário e terciário, assim como de disposição final do efluente, podem ser utilizadas desde que atendam com eficiência o objetivo de tratamento complementar dos efluentes de tanques sépticos (tratamento primário). A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1992), através da NBR 13969, apresenta alguns exemplos como alternativas aos convencionais.

Diferentes caracterizações de efluentes geram diferentes projetos, tanto na área rural como urbana. Uma tecnologia que vem se destacando, entre as possíveis alternativas em sistemas individuais de tratamento de esgoto, é a implantação de *wetlands* construídas como tratamento complementar do efluente do tanque séptico.

Baseado em sistemas naturais de tratamento de águas residuárias, as *wetlands* construídas são alternativas modernas para estações de tratamento de diversos tipos de efluentes. Mitsch (2000) afirma que as *wetlands* naturais são capazes de utilizar a filtração física, química e biológica na transformação de poluentes presentes em esgotos sanitários, e junto ao seu habitat selvagem, harmoniza a relação da sociedade com a natureza, apresentando alguns bons exemplos de estações de tratamento de esgoto por este método, ao redor do mundo.

Um tratamento por *wetlands* construídas pode ser projetado de diferentes modos hidráulicos. Kadlec e Wallace (2009) separam as possibilidades de construções de acordo com o fluxo. As *wetlands* construídas com fluxo superficial são áreas projetadas para simular lagoas do tipo pântano, com vegetação variada, já as que utilizam fluxo subsuperficial, o efluente atravessa, horizontalmente ou verticalmente, um leito filtrante cultivado com vegetação do tipo macrófitas aquáticas emergentes.

Nas *wetlands* subsuperficiais, a areia, ou algum outro tipo de solo hidráulico, age como meio filtrante e soma-se ao cultivo de vegetação, que proporcionará a zona de raízes, atuante no tratamento. Segundo Wallace e Knight (2006), este tipo de *wetland* é comum, como tratamento secundário, em residências familiares ou em sistemas coletivos de pequeno porte. Pelo fato de não haver efluente exposto durante o processo de tratamento, o risco associado à saúde humana, pela exposição de organismos patogênicos, é minimizado.

Muitos tipos de *wetlands* subsuperficiais de fluxo vertical são encontrados ao redor do mundo. A tecnologia foi desenvolvida na Europa, meados dos anos 1960, com a intenção de fornecer níveis maiores de transferência de oxigênio, e produzir um efluente nitrificado, o que não acontece nas *wetlands* de fluxo horizontal, que são limitadas quanto à capacidade de oxidar amônia (KADLEC & WALLACE, 2009).

Um levantamento, realizado por Ferreira et al. (2013), com o intuito de verificar a possibilidade de padronização do sistema de *wetlands* subsuperficial de fluxo vertical, constatou valores bastante satisfatórios no tratamento de esgoto sanitário. O estudo considerou trabalhos realizados por pesquisadores, no Brasil, e apontou médias para remoção de DBO entre 77% e 99% de eficiência, 99% de remoção de coliforme total, e remoção de nutrientes, Nitrogênio e Fósforo, com máximas de 89% de N amoniacal, 93,3% de N total e 99,6% de Fósforo.

Dentre as diversas variações, os modelos mais comuns de *wetland* de fluxo vertical possuem tubulação de entrada distribuída por toda a superfície da *wetland*, onde são despejadas doses do

efluente, de maneira intermitente. O efluente atravessa um meio filtrante, normalmente feito de areia e brita, e a água tratada é coletada pela tubulação da parte inferior da *wetland* (NIVALA et al., 2013).

O processo de filtração nas *wetlands* construídas é fornecido pelo meio suporte utilizado. Este serve como substrato ao cultivo da vegetação, favorece as transformações químicas e bioquímicas, além de aprisionar os poluentes removidos (DUPOLDT et al., 2000). Para Metcalf e Eddy (1991), é importante conhecer a porosidade e condutividade hidráulica do meio filtrante escolhido para o estudo hidráulico e dimensionamento das *wetlands* construídas.

Quanto a vegetação cultivada nas *wetlands*, de acordo com Dupoldt et al. (2000), não há dúvida quanto a sua importância para o tratamento. Diversos estudos que medem eficiência de tratamento de águas residuárias, com e sem vegetação, concluem quase sempre que o desempenho no tratamento é maior na presença de plantas.

As plantas utilizadas no sistema de *wetlands* construídos, além de proporcionar a característica visual do sistema, fornecem superfície para crescimento de microrganismos e adesão do biofilme, atuando na retirada de nutrientes do efluente (KONNERUP et al., 2008).

De maneira geral, a seleção da vegetação a ser cultivada está relacionada com a profundidade da zona de raízes e a altura da planta, assim como com o tipo de sistema escolhido, fluxo superficial ou subsuperficial. As macrófitas emergentes, utilizadas em sistemas de fluxo subsuperficial, são fixas no substrato da *wetland* e adaptadas a profundidades de 0,5 a 1,5 m.

3 Considerações de Projeto

A escolha do local para construção de uma *wetland* leva em consideração diversos aspectos, os quais influenciam diretamente nos resultados obtidos. É necessário um estudo do local, quanto à disponibilidade de área, topografia, permeabilidade do solo, recursos ambientais existentes, assim como possíveis impactos na vizinhança. Dupoldt et al. (2000) cita alguns critérios que o melhor local para implantação deve seguir: proximidade da fonte do efluente; inclinação, para que a água flua através da gravidade; solo passível de compactação, para evitar contaminação das águas subterrâneas; e a *wetland* deve estar acima do lençol freático.

Pelo fato de se portarem como corpos d'água abertos à atmosfera, as *wetlands* construídas são diretamente influenciadas pelas condições climáticas da região onde se planeja construir o sistema. Há situações em que as *wetlands* podem diminuir a eficiência de tratamento, devido às chuvas fortes que aumentam o fluxo rapidamente, diminuindo o tempo que o efluente permanece no sistema. O aumento no fluxo pode diluir alguns poluentes dissolvidos, enquanto aumenta a quantidade de materiais em suspensão (DUPOLDT et al., 2000).

Para Mitsch (2000), a hidráulica do sistema é a variável mais importante no design das *wetlands* construídas, garantindo resposta às condições químicas e biológicas no tratamento do efluente.

O tempo de detenção hidráulica da *wetland* está diretamente relacionado com a eficácia do tratamento. Dupoldt et al. (2000) afirma que a relação entre o tamanho da área alagada com o tempo de retenção da água é fator determinante no dimensionamento das *wetlands*.

Segundo Kadlec e Wallace (2009), para obter um correto dimensionamento de *wetlands* subsuperficiais, o volume contido no tanque deve ser multiplicado pela porosidade do meio suporte utilizado. Isto se confirma na equação, desenvolvida por Metcalf e Eddy (1991), na qual o tempo de detenção hidráulico é baseado na porosidade do meio suporte:

$$t' = \frac{LW\alpha d}{Q} \quad (1)$$

Onde:

t' = tempo de detenção hidráulico (d)

L = comprimento da *wetland* (m)

W = largura da *wetland* (m)

Q = vazão do efluente (m³/d)

α = porosidade do meio suporte

d = profundidade da *wetland* (m)

4 Metodologia

O presente trabalho, visando um estudo sobre a aplicação de *wetlands* construídas em sistemas de tratamento de esgoto, utilizou como proposta o dimensionamento do sistema para tratar os efluentes gerados por um empreendimento do ramo de hotelaria. O local de implantação, para elaboração do projeto é uma residência comum, localizada na cidade de Curitiba, Paraná. No entanto, o local foi transformando adequando a residência para oferecer o serviço de hospedagem, no formato de um albergue. Portanto, o desenvolvimento deste projeto tem como foco atender as características do empreendimento.

Para caracterização do efluente gerado foram definidas as fontes geradoras, provenientes do local onde será implantada a *wetland*. Devido às limitações do local de implantação, optou-se por destinar ao sistema, apenas os efluentes gerados nos banheiros do andar superior do imóvel, os quais são de uso exclusivo dos hóspedes do mesmo andar, sendo estipulado leito máximo de 25 pessoas (número máximo de contribuintes do sistema).

Todos os efluentes sanitários desta fonte geradora, tanto água negra como águas cinza, devem ser tratados em conjunto. Os efluentes são encaminhados para um tratamento primário (tanque séptico), antes do sistema de *wetlands* construídas, que atua como tratamento secundário dos efluentes.

Para o cálculo da vazão de entrada do sistema, foi considerado, o número máximo de contribuintes que utilizam da fonte geradora, no caso os banheiros do empreendimento. O cálculo da vazão doméstica média de esgoto, adaptado de Metcalf e Eddy (1991), é dado por:

$$Q_{méd} = \frac{P \cdot q \cdot R}{1000} \quad (2)$$

Onde:

$Q_{méd}$ = vazão doméstica média de esgoto (m^3/d)

P = número de contribuintes (hab.)

q = cota per capita de água (L/hab.dia)

R = coeficiente de retorno

Foi utilizada a norma técnica NBR 7229 (BRASIL, 1993), para obtenção dos valores de coeficiente de retorno (R = 80%) do consumo local de água, assim como para valores da cota per capita de água (q = 100 L/hab.dia), valor médio para hotéis, não incluindo lavanderia e cozinha, conforme indicado na Tabela 1, abaixo.

Tabela 1 - Valores médios de contribuição de esgoto.

Prédio	Unidade	Contribuição de esgoto (L/dia)
1. Ocupantes permanentes		
• Residência		
Padrão alto	pessoa	160
Padrão médio	pessoa	130
Padrão Baixo	pessoa	100
• Hotel (exceto lavanderia e cozinha)	pessoa	100
• Alojamento provisório	pessoa	80

Fonte: Adaptado de NBR 7229, 1993.

A escolha do meio filtrante a ser utilizada na *wetland* foi determinante para aplicação da Equação 1, descrita anteriormente, obtendo as dimensões do tanque. Para este sistema foi optado por utilizar duas camadas distintas de meios filtrantes: argila expandida e areia grossa. A argila expandida, segundo o catálogo do fornecedor do produto, Argex (2013), possui uma porosidade de 45% ($\alpha = 0,45$) e a areia grossa, segundo Metcalf e Eddy (1991), de 35% ($\alpha = 0,35$).

A Equação 1, foi então adaptada para ser aplicada de maneira efetiva, considerando o volume mínimo demandado para o tempo de detenção hidráulico a ser utilizado. Sendo assim, temos que:

$$V = \frac{TDH \times Q}{\alpha} \quad (3)$$

Onde:

V = volume mínimo demandado (m³)

TDH = tempo de detenção hidráulica (d)

Q = vazão diária de esgoto (m³/d)

α = porosidade média do meio suporte

5 Resultados e Discussão

Para o máximo de 25 pessoas, aplicando-se a Equação 2, considerando os parâmetros supracitados, é gerada a vazão de 2 m³/d, os quais passam por um tratamento primário (tanque séptico) e em seguida são destinados à *wetland* subsuperficial de fluxo vertical.

Considerando o tempo de detenção hidráulica mínimo de 2,5 dias, a vazão diária de esgoto de 2 m³/d, e a porosidade média do meio suporte de 40% ($\alpha = 0,4$), aplica-se a Equação 3 e temos que o volume mínimo demandado pela *wetland* é de 12,5 m³.

6 Conclusão

Sendo assim, conclui-se, que para o dimensionamento da *wetland* construída de fluxo vertical subsuperficial, deve ser levado em consideração o meio suporte utilizado para o processo de filtração, assim como o tempo de detenção hidráulico (TDH) do efluente no tanque. A escolha da vegetação não teve interferência nos cálculos de dimensionamento do sistema, mas possui influência direta na eficiência do tratamento.

Portanto, para o sistema proposto neste artigo, a fim de atender o volume mínimo de 12,5 m³, e considerando a área disponível para construção do sistema, a *wetland* terá as seguintes dimensões internas: 2,4 m de largura, 4,4 m de comprimento, com profundidade útil de 1,2 m.

Referências

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13969**: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1992.

_____. **NBR 7229**: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 1992.

ARGEX. Argex Argila Expandida. **Catálogo: ARGEX® Filtrante**. 2013. Disponível em: <http://www.argex.pt/documentos/Argex_Filtrante.pdf>. Acesso em: janeiro de 2015.

DUPOLDT, Carl; ISAACS, Barry; MURPHY, Timothy; SAYERS, Melanie; SUFFIAN, Fred; TAKITA, Charles; WEBSTER, Harold. **A Handbook of Constructed Wetlands**. A guide to creating wetlands for: Agricultural Wastewater, Domestic Wastewater, Coal Mine Drainage, Stormwater. Vol. 1. USA, 2000.

FERREIRA, Sheila Cristhina da Rocha; BORBA, Aliny Lucia Borges; ANDRADE, Helisson Henrique Borsato; KAICK, Tamara Simone van. **Levantamento de pesquisas desenvolvidas com *wetlands* subsuperficial de fluxo vertical no Brasil para verificar as possibilidades de padronização do sistema**. 1º Simpósio Brasileiro sobre

- Aplicação de *Wetlands* Construídos no Tratamento de Águas Residuárias. Florianópolis, 2013.
- FUNASA. **Manual de saneamento**. 3. ed. rev. - Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2010**. Arquivo eletrônico (on-line). Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em: junho, 2014.
- JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSOA, Constantino Arruda. **Tratamento de esgotos domésticos**. 5. ed. Rio de Janeiro, RJ: ABES, 2009.
- KADLEC, Robert H.; WALLACE, Scott. **Treatment wetlands** - 2. ed. USA, 2009.
- KONNERUP, Dennis; KOOTTATEP, Thammarat; BRIX, Hans. **Treatment of domestic wastewater in tropical, subsurface flow constructed wetlands planted with Canna and Heliconia**. Ecological Engineering, 2009.
- METCALF & EDDY, INC. **WASTEWATER engineering: treatment, disposal, and reuse**. 3rd ed. New York, NJ: McGraw-Hill, 1991.
- METCALF & EDDY, INC. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 4th ed. Boston: McGraw-Hill, 2003.
- MITSCH, William J.; GOSELINK, James G.. **Wetlands**. 3rd ed. New York, US: J. Wiley, 2000.
- MITSCH, William J.; GOSELINK, James G.. **Wetlands**. 3rd ed. New York, US: J. Wiley, 2000.
- NIVALA, Jaime; HEADLEY, Tom; WALLACE, Scott; BERNHARD, Katy; BRIX, Hans; AFFERDEN, Von Manfred; MÜLLER, Roland Arno. **Comparative analysis of constructed wetlands: The design and construction of the ecotechnology research facility in Langenreichenbach, Germany**. Ecological Engineering, 2013.
- ONU. **Perspectivas da Urbanização Mundial**. Departamento dos Assuntos Econômicos e Sociais (DESA). 2014.
- PROSAB. **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. Lourdinha Florencio, Rafael Kopschitz Xavier Bastos, Miguel Mansur Aisse (Coord.). Rio de Janeiro: ABES, 2006.
- SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico dos serviços de Água e Esgoto – 2009**. Brasília, 2011. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/PaginaCarrega.php?EWRerterterTERTer=89>>. Acesso em: junho, 2014.
- WALLACE & KNIGHT. **Small-scale constructed wetland treatment systems: Feasibility, Design criteria, and O&M requirements**. Water Environment Research Foundation (WERF): Alexandria, Virginia. 2006.