

# Potencial de nitrificação/desnitrificação de tanque séptico e *wetland* construído com recirculação no tratamento descentralizado de esgoto de empreendimento habitacional

*Nitrification/denitrification potential of a septic tank and a constructed wetland with recirculation in the decentralized wastewater treatment from a housing development*

Samara Terezinha Decezaro<sup>1\*</sup> , Delmira Beatriz Wolff<sup>1</sup>, Ronaldo Kanopf de Araújo<sup>1</sup>, Orlando de Carvalho Júnior<sup>2</sup>, Pablo Heleno Sezerino<sup>3</sup>

## RESUMO

Os *wetlands* construídos (WC) são uma ecotecnologia aplicável para o tratamento descentralizado de esgotos notadamente em pequenas comunidades, em razão de sua simplicidade operacional. Existem vários arranjos e combinações de WC possíveis, destacando-se o arranjo tanque séptico (TS), seguido da modalidade de WC de escoamento vertical (WCV) com recirculação do efluente do WCV de volta para o TS, como proposta para possibilitar a remoção de nitrogênio presente no esgoto afluente. Entretanto, no Brasil, essa configuração e suas implicações operacionais e de desempenho são pouco exploradas. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho de um sistema de TS seguido de um WCV com recirculação no tratamento descentralizado de esgoto doméstico. O sistema empregado no tratamento de esgoto de um equivalente populacional de dez habitantes é composto de um TS (4,7 m<sup>3</sup> de volume útil), seguido de um WCV (24,5 m<sup>2</sup> de área superficial) preenchido com brita e plantado com *Canna* spp. O monitoramento, que compreendeu um período de nove meses, teve início após um ano e cinco meses de operação do sistema. Utilizando taxa de 50% de recirculação, taxa de aplicação hidráulica no WCV de 85 mm d<sup>1</sup> e carga de 47 g DQO m<sup>2</sup>d<sup>1</sup>, foram obtidas boas eficiências para remoção conjunta de demanda química de oxigênio – DQO (80%), sólidos em suspensão totais – SST (85%) e nitrogênio total –NT (42%), mesmo com elevadas cargas orgânicas. Além das boas eficiências apresentadas, o sistema demonstrou ser robusto e de operação simples e representa uma alternativa tecnológica com potencial para o tratamento descentralizado de esgotos de empreendimentos habitacionais.

**Palavras-chave:** filtros plantados; escoamento vertical; remoção de matéria orgânica carbonácea; remoção de nitrogênio; sistemas alagados construídos.

## ABSTRACT

Constructed wetland (CW) is an applicable eco-technology for decentralized wastewater treatment, notably in small communities, due to its operational simplicity. CW has several possible arrangements and combinations, among which the septic tank (ST) stands out, followed by the vertical flow constructed wetland (VFCW), with treated effluent recirculation back to the ST to enable nitrogen removal. However, in Brazil, this configuration and its operational and performance implications are little explored. Therefore, this study aimed to evaluate the performance of an ST system, followed by a VFCW with recirculation in the decentralized treatment of domestic wastewater. The wastewater treatment system for 10 inhabitants consists of an ST (4.7 m<sup>3</sup> of useful volume), followed by a VFCW (24.5 m<sup>2</sup> of surface area) planted with *Canna* spp. The monitoring, which covered a period of nine months, started after one year and five months of system operation. Using a 50% recirculation rate, VFCW hydraulic loading rate of 85 mm d<sup>1</sup>, and organic load of 47 g COD m<sup>2</sup> d<sup>1</sup>, good efficiencies were obtained for the joint removal of chemical oxygen demand – COD (80%), total suspended solids – TSS (85%), and total nitrogen – TN (42%), even with high organic loads. In addition to the good efficiencies presented, the system proved to be robust and easy to operate, representing a technological alternative with potential for the decentralized wastewater treatment of housing developments.

**Keywords:** planted filters; vertical flow; carbonaceous organic matter removal; nitrogen removal; constructed wetlands.

<sup>1</sup>Universidade de Santa Maria - Santa Maria (RS), Brasil.

<sup>2</sup>Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Londrina (PR), Brasil.

<sup>3</sup>Universidade Federal de Santa Catarina - Florianópolis (SC), Brasil.

\*Autora correspondente: samaradecezaro@hotmail.com

**Conflitos de interesse:** os autores declaram não haver conflito de interesses.

**Financiamento:** Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

**Recebido:** 02/03/2020 - **Aceito:** 10/08/2020 - **Reg. ABES:** 20200068

## INTRODUÇÃO

Grande parcela da população brasileira (53,7%) não tem acesso à coleta e ao tratamento dos esgotos (SNIS, 2018). O maior déficit ocorre em áreas afastadas dos grandes centros, em comunidades isoladas, urbanas e rurais. É importante notar que somente em comunidades rurais residem cerca de 30 milhões de pessoas, segundo o censo demográfico realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010). A melhor solução para resolver esse problema consiste na implantação de tecnologias de tratamento descentralizado dos esgotos, de nível individual, conhecido na literatura internacional como sistema *on site*, ou coletivo, para atendimento de pequenas comunidades e/ou conjunto de edificações. Diversas tecnologias aplicáveis a esse cenário são apresentadas nas normas brasileiras NBR 7229 (ABNT, 1993) e NBR 13969 (ABNT, 1997), as quais contemplam níveis de tratamento primário e secundário, ou seja, destinam-se basicamente à remoção de sólidos em suspensão e matéria orgânica carbonácea presentes nos esgotos.

Os *wetlands* construídos (WC) constituem uma ecotecnologia aplicável ao contexto do tratamento descentralizado, uma vez que oferecem simplicidade operacional e baixos custos de operação e manutenção, e podem atender a um equivalente populacional de até 10 mil habitantes (LANGERGRABER *et al.*, 2019). Além disso, têm grande aplicabilidade para o tratamento dos esgotos em áreas de expansão urbana, tais como loteamentos e condomínios, mercados, restaurantes e pousadas. Os WC possibilitam algumas vantagens adicionais quando comparados aos sistemas convencionais (tanque séptico — TS — seguido de filtro anaeróbio, por exemplo), pois é possível obter um efluente de melhor qualidade, com remoção de matéria orgânica e sólidos suspensos simultaneamente às transformações do nitrogênio.

Para remoção de nitrogênio das águas residuárias, uma série de etapas biológicas deve ser seguida, conforme o ciclo do nitrogênio. Entre as principais, estão: conversão de nitrogênio orgânico em nitrogênio amoniacal (amonificação), conversão de nitrogênio amoniacal em nitrato (nitrificação), em ambiente aeróbio, e, posteriormente, conversão de nitrato em nitrogênio gasoso (desnitrificação), em ambiente anóxico (METCALF; EDDY, 2016). Entre as várias configurações de WC existentes, os *wetlands* construídos de escoamento vertical (WCV) são sistemas nos quais é possível obter boa nitrificação em razão da aeração proporcionada pela alimentação intermitente (DOTRO *et al.*, 2017). Porém, como os WCV são predominantemente aeróbios, apresentam limitações quanto à desnitrificação e, conseqüentemente, na remoção de nitrogênio total. Dessa forma, o que predomina nesses sistemas é somente a transformação do nitrogênio de uma forma a outra, com atuação dos processos de amonificação e nitrificação (SAEED; SUN, 2012).

Por essa razão, uma modificação operacional surgida na Dinamarca tem sido proposta para possibilitar a remoção de nitrogênio total em WCV. Refere-se à recirculação do efluente do WCV de volta para o tratamento primário (TS), para que ocorra a desnitrificação (BRIX; ARIAS; JOHANSEN, 2002; 2003; MARTI *et al.*, 2003; ARIAS; BRIX; MARTI, 2005; BRIX; ARIAS, 2005). Como o efluente dos WCV normalmente apresenta elevadas concentrações de nitrato, a transferência desse efluente para um TS origina condições anóxicas, e isso, junto à disponibilidade de carbono orgânico no meio, pela entrada constante de esgoto bruto, torna possível a ocorrência da desnitrificação (PLATZER, 1999; ARIAS; BRIX; MARTI, 2005).

Além disso, a recirculação possibilita a diluição do esgoto, o que é importante para a obtenção de baixas concentrações de poluentes no efluente final,

principalmente no que diz respeito ao tratamento descentralizado de pequena escala, unifamiliar ou semicoletivo, em que é comum encontrar concentrações de poluentes bastante elevadas nos esgotos brutos (BRIX; ARIAS, 2005). Ainda, a recirculação proporciona mais chances de contato entre esgoto e micro-organismos e a entrada de maiores quantidades de oxigênio nos WCV pelo processo de convecção (PLATZER, 1999).

O TS, em razão, principalmente, de sua simplicidade e baixo custo, é uma tecnologia de tratamento bastante difundida no Brasil, presente em cerca de 15 milhões de domicílios (IBGE, 2016). Já os WCV, apesar de consagrados ao redor do mundo, ainda são uma tecnologia pouco explorada no país. Destaca-se seu grande potencial de aplicação, já que o país dispõe de características climáticas e demográficas favoráveis à implantação de tecnologias naturais de tratamento. Nesse aspecto, é importante mencionar a existência de um material de consenso entre pesquisadores e praticantes sobre o dimensionamento de WC no Brasil, um documento que consolidou os principais critérios e parâmetros de projeto aplicáveis às condições brasileiras (VON SPERLING; SEZERINO, 2018).

Os custos do arranjo tecnológico de TS seguido de WCV são competitivos com outras tecnologias que possibilitam desempenho semelhante, como é o caso do arranjo composto de TS seguido de lodos ativados por batelada (LAB). Em uma comparação desses arranjos, para um equivalente populacional de 150 habitantes e horizonte de projeto de 15 anos, Schroeder (2020) constatou que os custos totais de construção, operação e manutenção são cerca de três vezes menores para o arranjo de TS seguido de WCV. Isso ocorre, principalmente, em razão do grande impacto dos custos de operação e manutenção, estimados em R\$ 16,74 hab<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para um WCV e em R\$ 118,37 hab<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para um LAB (SCHROEDER, 2020). Destaca-se que os WCV apresentam como vantagens a maior simplicidade operacional, o reduzido consumo de energia e a não geração de lodo.

Vale ressaltar que os efeitos da recirculação em sistema de TS seguido de WCV ainda não são conhecidos para as condições brasileiras. Além disso, é necessário aprofundar o conhecimento sobre a aplicabilidade da recirculação em condições de contorno específicas, tais como o regime hidráulico adotado, o carregamento orgânico, o tipo de planta e meio suporte utilizados, associados às características climáticas locais. Diante do exposto, este estudo teve como objetivo avaliar o desempenho de um sistema de TS seguido de WCV com recirculação no tratamento descentralizado de esgoto doméstico, na região Sul do Brasil.

## METODOLOGIA

O estudo foi realizado em uma Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) em escala real, destinada ao tratamento descentralizado de esgoto doméstico de um empreendimento habitacional multifamiliar com equivalente populacional de dez habitantes, localizado na cidade de Santa Maria, Rio Grande do Sul. Essa ETE entrou em operação em setembro de 2015, contendo um TS (com 4,7 m<sup>3</sup> de volume útil), seguido de um módulo WCV (com 24,5 m<sup>2</sup> de área superficial) e um conjunto de bombas e válvulas para permitir a flexível operação do sistema (Figura 1). O *layout* do sistema possibilita a recirculação do efluente do WCV de volta para o TS. Apesar da possibilidade de realizar a recirculação por gravidade nesse sistema, durante o período estudado, compreendido entre fevereiro de 2017 e outubro de 2017, a recirculação foi feita por bombeamento, a fim de melhor controlar a quantidade de efluente recirculado diariamente.

A estação possui medidores de vazão em diferentes locais para controle das taxas de aplicação hidráulica — TAH (Figura 1). A vazão afluyente (esgoto bruto) foi medida por meio de medidor ultrassônico (Incontrol, ITS 2000), acoplado a um canal com vertedor triangular de 60°. Já a vazão afluyente do WCV e a vazão de recirculação foram medidas por meio de medidores eletromagnéticos (Incontrol, VMF), instalados nas linhas de recalque (DECEZARO, 2016). O monitoramento das vazões consistiu no registro manual do volume totalizado diariamente nos medidores de vazão.

### Tanque séptico

O TS (Figura 1) foi dimensionado segundo recomendações da Norma Brasileira NBR 7229 (ABNT, 1993), conforme a Equação 1. A vazão de recirculação ( $L \cdot d^{-1}$ ) foi considerada no cálculo da taxa de contribuição diária ( $C$ ), pois influencia no tempo de detenção hidráulica (TDH) do TS, ou seja, para um mesmo volume útil ( $m^3$ ), quanto maior a vazão de efluente recirculado, menor será o TDH no tanque e, conseqüentemente, menor será a eficiência de sedimentação (ARIAS; BRIX; MARTI, 2005). Os dados adotados foram: unidade multifamiliar com número de pessoas ( $N$ ) = 10 habitantes; contribuição de despejos ( $C$ ) de 300  $L \text{ pessoa}^{-1} \text{ d}^{-1}$  (contribuição de 150  $L \text{ pessoa}^{-1} \text{ d}^{-1}$  mais 100% de recirculação); contribuição de lodo fresco ( $L_f$ ) de 1  $L \text{ pessoa}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ; período de detenção ( $T$ ) = 1 d; intervalo de limpeza de um ano e taxa de acumulação total de lodo ( $K$ ) de

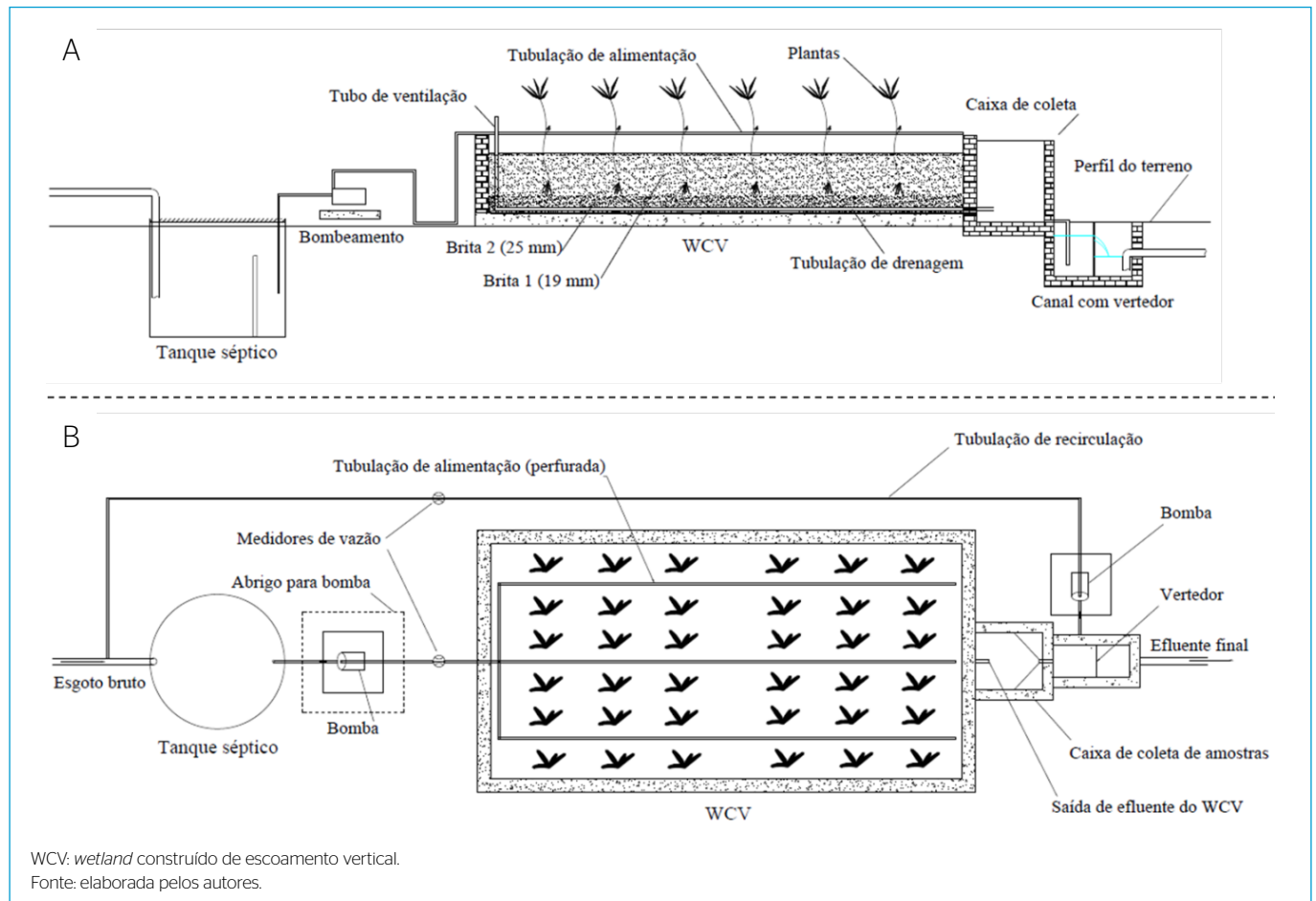
65 dias. Assim, o TS foi dimensionado para um volume útil de 4,65  $m^3$ , com formato cilíndrico e altura útil de 1,5 m. As dimensões resultantes foram:  $A = 3,14 \text{ m}^2$ ; diâmetro = 2 m; profundidade útil = 1,5 m; e  $V_{\text{útil}} = 4,7 \text{ m}^3$ .

$$V = 1000 + N (C T + K L_f) \quad (1)$$

O TS foi projetado para receber, além do esgoto bruto, o efluente de recirculação, contendo elevada concentração de nitrato ( $N\text{-NO}_3^-$ ). Portanto, a recirculação acarretou a operação do TS em condições anóxicas e, ao mesmo tempo, proporcionou a diluição do esgoto nesse tanque. O regime de operação do TS foi intermitente, com oscilações do nível de água dentro do TS. A entrada de esgoto bruto foi realizada por meio de sensores de nível (Margirius, CB 2001) instalados dentro do tanque, que eram ativados automaticamente quando o nível inferior ficava 50 cm abaixo da superfície do TS, aproximadamente.

### *Wetland* construído de escoamento vertical

O WCV foi dimensionado para uma TAH de 120  $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$ , referente a um cenário de 100% de razão de recirculação. Essa TAH está situada dentro da faixa comumente aplicada em WCV, que varia de 50 a 150  $\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$  (VON SPERLING; SEZERINO, 2018; STEFANAKIS, AKRATOS; TSIHRINTZIS, 2014).



**Figura 1** - Representação esquemática em (A) corte longitudinal e em (B) planta do sistema de tanque séptico e *wetland* construído de escoamento vertical com recirculação para o tratamento descentralizado de esgoto doméstico.

Para atender a uma vazão de esgoto bruto de  $1.500 \text{ L.d}^{-1}$  (equivalente a dez pessoas, com contribuição de  $150 \text{ L.pessoa}^{-1} \text{ d}^{-1}$ ) mais um cenário de  $1.500 \text{ L.d}^{-1}$  de recirculação, a vazão afluente ao WCV prevista foi de aproximadamente  $3.000 \text{ L.d}^{-1}$ . Para essa vazão e uma TAH de  $120 \text{ mm.d}^{-1}$ , a área superficial necessária foi de  $25 \text{ m}^2$ . Como a relação comprimento/largura adotada foi igual a 2, as dimensões resultantes do módulo WCV foram 7 m de comprimento por 3,5 m de largura, ou seja, área superficial de  $24,5 \text{ m}^2$ .

O meio suporte escolhido para preenchimento do WCV foi brita, um agregado com textura adequada e boa condutividade hidráulica (BRIX; ARIAS; JOHANSEN, 2003), a fim de prevenir a colmatação e prolongar a vida útil do filtro. Utilizou-se uma camada de 20 cm de brita nº 2 (25 mm) no fundo, seguida de uma camada intermediária de 50 cm de brita nº 1 (19 mm) e uma última camada de 5 cm de brita nº 2 na superfície (Figura 1), o que totalizou 75 cm de preenchimento, ficando 40 cm de borda livre.

O ensaio granulométrico do meio suporte (brita 1) foi realizado de acordo com a NBR 7217 (ABNT, 1987). Os coeficientes obtidos a partir da curva granulométrica foram:  $d_{10} = 9,5$ ;  $d_{30} = 12,5$ ;  $d_{60} = 15 \text{ mm}$ ; e coeficiente de uniformidade ( $U$ ) = 1,58.

A tubulação de distribuição/alimentação de esgoto afluente no WCV foi composta de três linhas, cada uma formada por um tubo PVC de 32 mm de diâmetro, com furos de 6 mm de diâmetro espaçados a cada 20 cm nos primeiros 3 m de tubo, e a cada 10 cm nos demais 3 m de tubo (Figura 1B). A tubulação de distribuição foi posicionada 50 cm acima da superfície do WCV, fixada em suportes de ferro. Nessa unidade, o esgoto percola verticalmente até atingir a tubulação de coleta/drenagem, situada no fundo do filtro e composta de três linhas de tubos PVC de 40 mm de diâmetro, com furos de 8 mm de diâmetro espaçados a cada 10 cm. A tubulação de drenagem foi assentada acima de uma camada de aproximadamente 5 cm de brita nº 2. Na tubulação de drenagem, foram conectados tubos de ventilação, um para cada linha de drenagem (Figura 1).

A planta utilizada no WCV foi a *Canna* spp. Essa planta foi escolhida em razão de seu aspecto paisagístico, boa eficiência relatada (CUI et al., 2010; ABOU-ELELA; HELLAL, 2012) e por ser uma planta encontrada naturalmente nas proximidades do local do estudo. Foram selecionadas duas espécies de *Canna* para transplantio: *Canna x generalis* e *Canna indica*. As plantas foram coletadas do ambiente natural com auxílio de uma pá, lavadas para retirada do excesso de matéria orgânica aderida às raízes e, posteriormente, transplantadas no meio suporte do WCV. No total, foram transplantados 170 perfilhos (7 plantas  $\text{m}^{-2}$ ) no meio suporte do WCV.

### Regime hidráulico aplicado

Apesar de o sistema de TS e WCV ter sido dimensionado para comportar uma razão de recirculação (RR) de 100%, neste estudo, utilizou-se uma RR de 50%. A RR, obtida em porcentagem, corresponde ao volume de efluente recirculado diariamente dividido pelo volume de esgoto bruto tratado diariamente e multiplicado por 100. Para uma RR de 50% e vazão de esgoto bruto de  $1,5 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ , a vazão de recirculação corresponde a  $0,75 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$  e a vazão efluente do TS (afluente do WCV),  $2,25 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$ . Assim, a TAH prevista para o WCV foi de  $90 \text{ mm.d}^{-1}$ , aproximadamente. Essa TAH diária foi dividida em oito pulsos/bateladas por dia, compreendidos no período das 8h30 às 22h30, o que resultou em cerca de 11,5 mm por pulso. A duração de cada pulso foi estabelecida em 2 minutos, com 2 h de intervalo entre os pulsos, ou seja, curtos períodos de alimentação seguidos de longos intervalos sem entrada de esgoto no WCV.

### Monitoramento do desempenho de tratamento

Por um período de nove meses (fevereiro a outubro de 2017), que compreendeu as quatro estações do ano, foram realizadas análises em amostras de efluentes coletadas em três pontos: Ponto 1: esgoto bruto; Ponto 2: efluente do TS (na linha de recalque); e Ponto 3: efluente do WCV. As amostras de efluente do WCV foram coletadas sempre no período de vazão máxima, pois as concentrações de poluentes podem variar conforme a vazão. As variáveis analisadas foram: temperatura, pH, alcalinidade, demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO<sub>5</sub>), sólidos em suspensão totais (SST), nitrogênio amoniacal ( $\text{N-NH}_4^+$ ), nitrogênio total Kjeldahl (NTK), nitrito ( $\text{N-NO}_2^-$ ) e  $\text{N-NO}_3^-$ . As análises foram realizadas de acordo com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012).

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2, estão apresentadas as vazões obtidas na ETE durante o período de monitoramento, as quais ficaram muito próximas das vazões de projeto, com TAH no WCV de  $85 \text{ mm.d}^{-1}$ . A distribuição das concentrações de matéria orgânica carbonácea, sólidos e de nitrogênio encontradas no esgoto bruto e no efluente das unidades de tratamento, ao longo de todo o período de monitoramento, é apresentada na Tabela 1 e na Figura 3.

As temperaturas médias observadas no esgoto bruto e tratado apresentaram variação entre 15 e 27°C. O pH foi em média 7,8 no esgoto bruto, 7,3 no efluente do TS e 7,2 no efluente do WCV, não apresentando grandes variações (baixo desvio padrão) ao longo do tempo de monitoramento. O menor valor de pH (6,8) foi medido no efluente do TS e o maior valor (8,5), no esgoto bruto. Esses valores mostram que as unidades de tratamento mantiveram pH adequado para o tratamento biológico, tanto para remoção de matéria orgânica carbonácea quanto para nitrificação e desnitrificação, que é de 6 a 9 (METCALF; EDDY, 2016).

O valor de alcalinidade total no esgoto bruto foi em média  $392 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ , cerca de duas vezes maior que o valor típico de alcalinidade encontrado em esgoto sanitário no Brasil, que corresponde a  $200 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$  (VON SPERLING, 2005). No efluente do TS, os valores de alcalinidade foram muito semelhantes aos encontrados no esgoto bruto, com média de  $393 \text{ mg CaCO}_3 \text{ L}^{-1}$ . A manutenção de valores elevados de alcalinidade é desejável, pois elevadas concentrações de ácidos voláteis resultantes do tratamento anaeróbio podem ser tamponadas sem acarretar em diminuição do pH (CHERNICHARO, 2016).

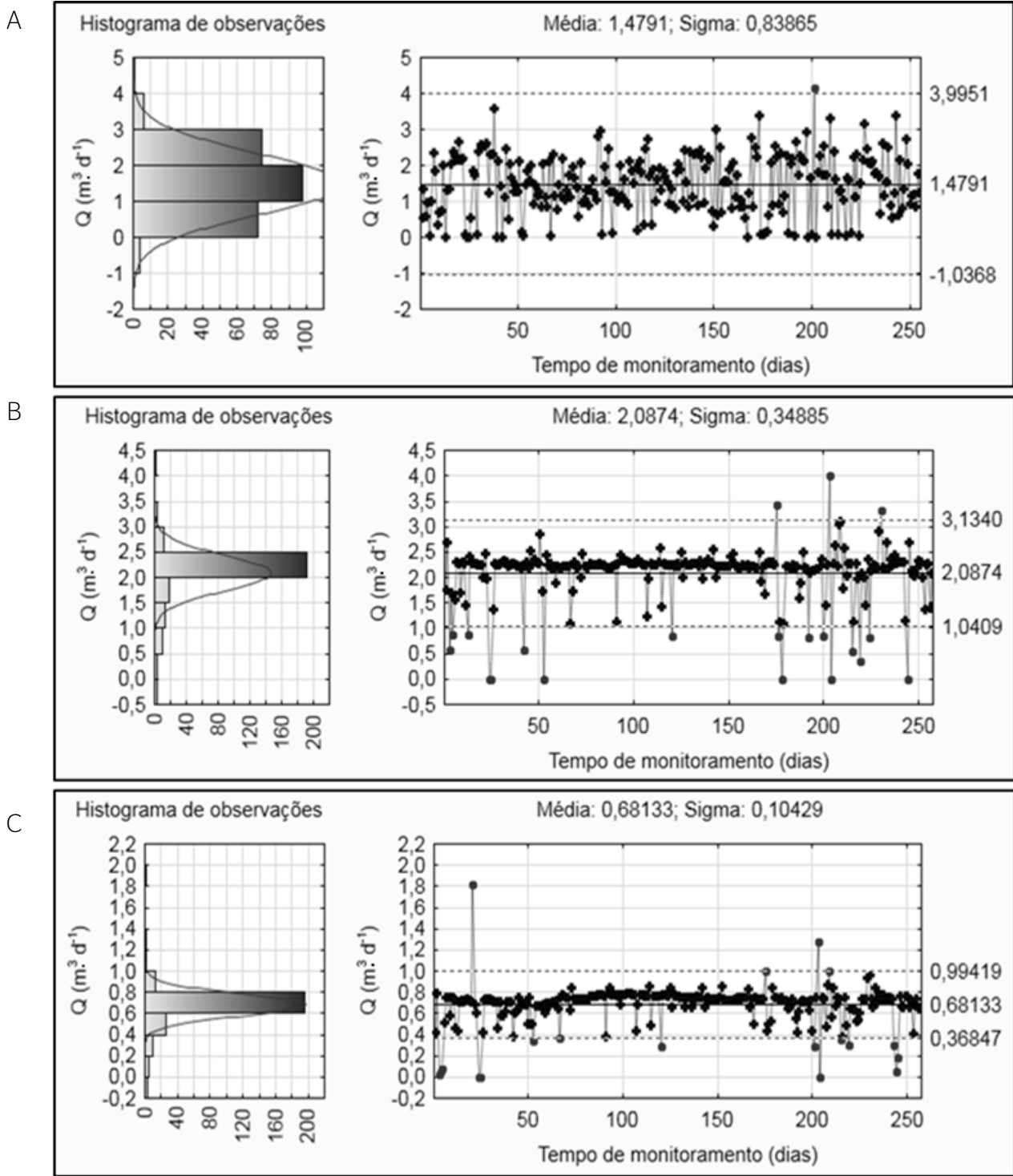
Além disso, certa produção de alcalinidade pode ter ocorrido no TS em razão da amonificação e da desnitrificação (HOFFMANN et al., 2007). Contudo, essa produção não acarretou em aumento da concentração da alcalinidade no TS, pois esse tanque estava submetido ao efeito de diluição proporcionado pela entrada de efluente oriundo do WCV, com alcalinidade inferior, por meio da recirculação. Por outro lado, o consumo de alcalinidade no WCV indica a ocorrência de degradação da matéria orgânica carbonácea e nitrificação, dois processos oxidativos que necessitam de alcalinidade (SAEED; SUN, 2012).

### Remoção de matéria orgânica carbonácea e sólidos

As concentrações de poluentes no esgoto bruto foram elevadas e apresentaram grande variação (elevado desvio padrão), com valores de DBO<sub>5</sub>, DQO e SST enquadrados na classificação de esgoto forte (METCALF; EDDY, 2016), com média de 678, 1.186 e  $723 \text{ mg.L}^{-1}$  para DBO<sub>5</sub>, DQO e SST, respectivamente. Entretanto, apesar

da grande variação no esgoto bruto, as concentrações de DBO<sub>5</sub>, DQO e SST apresentaram pouca variação no efluente final (Figura 3). Isso mostra a capacidade do sistema em suportar cargas de choque, constituindo um sistema robusto.

Para avaliar a remoção de DBO<sub>5</sub>, DQO e SST no sistema e eliminar a influência do efeito de diluição ocasionado pela recirculação de efluente ao TS, os dados foram apresentados em carga (Tabela 2). Apesar das elevadas cargas



Fonte: elaborada pelos autores.

**Figura 2** - Vazões afluentes e efluentes do sistema de tanque séptico e *wetland* construído de escoamento vertical no período estudado. (A) esgoto bruto; (B) efluente do tanque séptico = afluente do *wetland* construído de escoamento vertical; (C) efluente recirculado.



afuentes ao WCV, com média de 22 g DBO<sub>5</sub> m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>, 47 g DQO m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup> e 30 g SST m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>, as eficiências de remoção totais do sistema foram de 82, 80 e 85% para DBO<sub>5</sub>, DQO e SST, respectivamente. De acordo com Brix e Arias (2005), o esgoto de residências unifamiliares é frequentemente muito concentrado. Por essa razão, no seu tratamento, a utilização da recirculação traz como vantagem a diluição do esgoto, de forma que reduz as concentrações afluentes ao WCV e, assim, torna possível atingir baixas concentrações no efluente final (BRIX; ARIAS, 2005). Além disso, a recirculação do efluente também pode auxiliar na remoção de matéria orgânica carbonácea por fornecer entrada de oxigênio adicional por convecção, em razão do aumento da TAH (PLATZER, 1999).

Os mecanismos de remoção de matéria orgânica carbonácea envolvem processos físicos de sedimentação e filtração e, principalmente, decomposição microbiana, aeróbia e/ou anaeróbia. Em reatores anaeróbios, como os TS convencionais, predomina a sedimentação e a flotação da parcela particulada da matéria orgânica e a degradação anaeróbia da parcela solúvel. Os TS normalmente atingem eficiências de remoção de DBO<sub>5</sub> na faixa de 30 a 35% (VON SPERLING, 2005). Eficiências superiores foram obtidas no TS estudado neste trabalho, com média de 57% de remoção de DBO<sub>5</sub> em carga (Tabela 2).

O WCV removeu, em média, 44 e 49% de DBO<sub>5</sub> e DQO, respectivamente. Nesse sistema, a matéria orgânica particulada pode ser removida pelos processos físicos de sedimentação e filtração. Porém, a eficiência de remoção por esses processos depende do tipo de meio suporte empregado. Nesse aspecto, menores remoções de matéria orgânica foram observadas em WCV preenchidos com brita, como o WCV deste trabalho, quando comparados a filtros preenchidos com areia (BOHÓRQUEZ; PAREDES; ARIAS, 2017; NIVALA *et al.*, 2013). Com relação aos mecanismos de remoção da matéria orgânica carbonácea solúvel, nos WCV predomina a degradação aeróbia, que em razão da alimentação intermitente, possibilita a entrada de oxigênio por difusão e convecção

**Tabela 1** - Concentrações médias e desvios padrão das variáveis analisadas (fevereiro a outubro de 2017).

Variável	Esgoto bruto (n = 25)		Efluente do tanque séptico (n = 25)		Efluente final (n = 25)	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP
pH	7,8	0,4	7,3	0,3	7,2	0,2
Temperatura (°C)	22	3	21	4	22	4
Alcalinidade total (mg CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> )	392	75	393	55	231	33
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	1186	719	530	184	272	78
DBO <sub>5</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	678	400	252	79	137	40
SST (mg.L <sup>-1</sup> )	723	510	322	205	126	49
P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg.L <sup>-1</sup> )	-	-	8,2	2	8,1	2
NTK (mg.L <sup>-1</sup> )	111	38	80	16	48	10
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg.L <sup>-1</sup> )	71	17	60	10	36	9
N-NO <sub>2</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	-	-	0,1	0,1	1,3	1,5
N-NO <sub>3</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	-	-	0,3	0,2	20	7
NT (mg.L <sup>-1</sup> )	111	38	80	16	69	15

DP: desvio padrão; DQO: demanda química de oxigênio; DBO<sub>5</sub>: demanda bioquímica de oxigênio; SST: sólidos em suspensão totais; P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>: ortofosfato; NTK: nitrogênio total Kjeldahl; N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: nitrogênio amoniacal; N-NO<sub>2</sub>: nitrito; N-NO<sub>3</sub>: nitrato; NT: nitrogênio total.

Fonte: elaborada pelos autores.

(PLATZER, 1999). A magnitude de degradação da matéria orgânica depende da sua composição e do TDH no WCV.

A remoção de SST no sistema ocorreu em razão da atuação dos processos físicos de sedimentação no TS e de sedimentação e filtração no WCV. O TS alcançou boa remoção de SST, removendo em média 46% da carga aplicada. Contudo, no WCV, também foram obtidas boas eficiências na remoção de SST, com média de 61%.

Dessa forma, apesar da elevada carga orgânica afluente e do emprego da brita como meio suporte, o conjunto de TS seguido de WCV atingiu boas eficiências globais de remoção de matéria orgânica carbonácea e sólidos, no que se refere a DBO<sub>5</sub> e DQO e SST (em média, 82, 80 e 85%, respectivamente). O sistema atendeu, em todas as amostragens realizadas, a eficiência de remoção mínima de 60% de DBO<sub>5</sub>, estipulada pela Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 430/2011 (BRASIL, 2011). Além disso, essas remoções estão situadas dentro da faixa de remoção esperada por sistemas de TS seguido de tecnologias de tratamento complementar descritas na NBR 13969 (ABNT, 1997), como filtro anaeróbio submerso, filtro aeróbio, filtro de areia, vala de filtração, lagoa com plantas e LAB.

## Remoção de nitrogênio

A distribuição dos valores de nitrogênio, em termos de NTK e N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, no afluente e no efluente das unidades de tratamento, é apresentada na Figura 3. Nota-se que as concentrações de nitrogênio no esgoto bruto foram elevadas, com média superior a 100 mg.L<sup>-1</sup> para o NTK, típicas de esgoto forte (METCALF; EDDY, 2016).

Para avaliar a magnitude da transformação e da remoção de nitrogênio no sistema, os dados foram apresentados em carga e não em concentração (Figura 4). O objetivo dessa escolha foi eliminar a influência do efeito de diluição ocasionado pela recirculação de efluente do WCV ao TS.

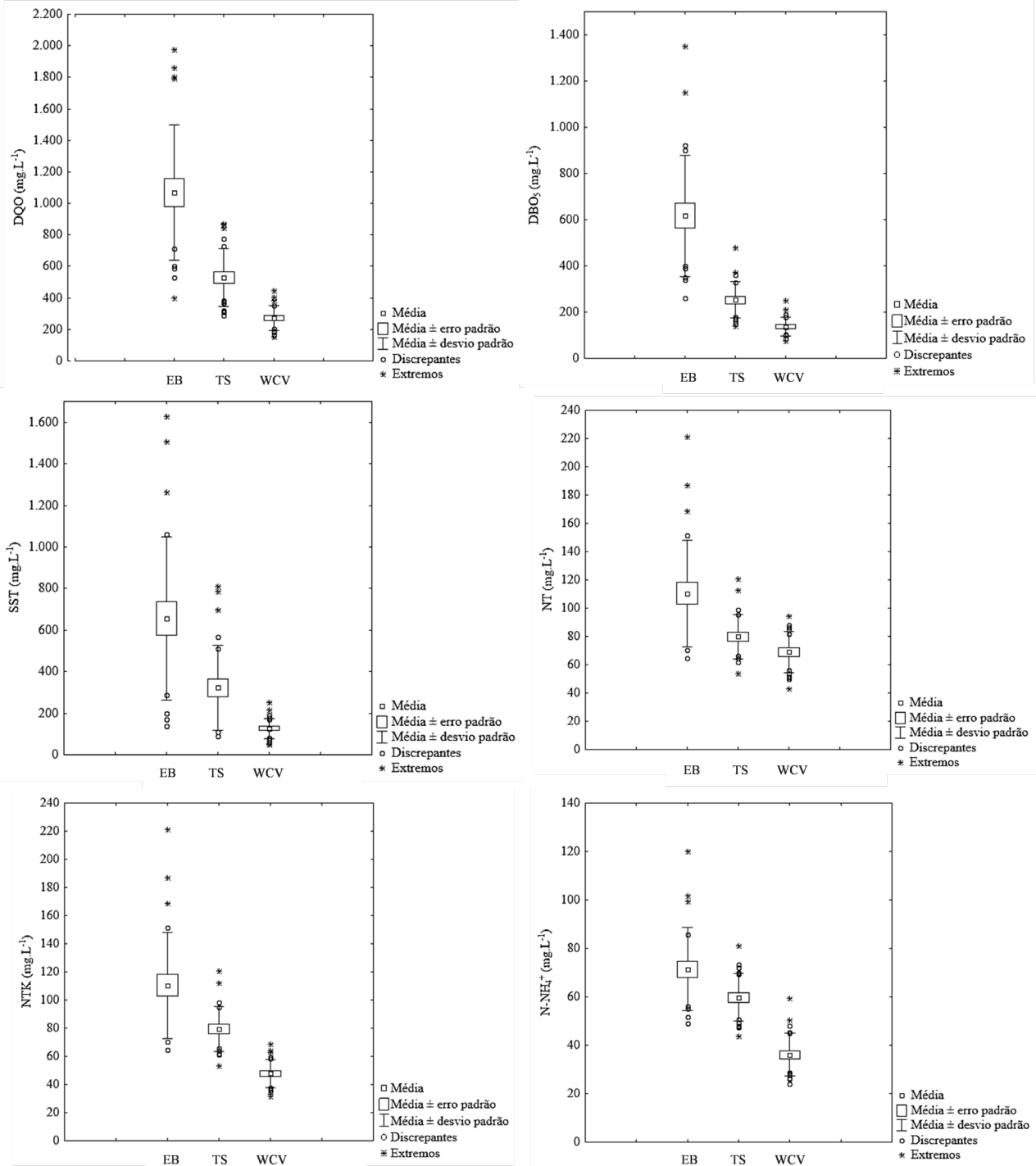
A intenção do sistema proposto, de TS seguido de WCV com recirculação, foi de que o nitrogênio pudesse passar por diferentes ambientes, aeróbio e anóxico, a fim de que o ciclo do N fosse completado. Nesse sistema, esperava-se que a amonificação ocorresse tanto no TS quanto no WCV, que a nitrificação acontecesse no WCV (ambiente aeróbio) e a desnitrificação incidisse no TS (ambiente anóxico).

A recirculação pode ter influenciado positivamente na ocorrência da nitrificação no WCV por meio da diluição do efluente e a partir do aumento da TAH, que pode ter possibilitado a entrada adicional de oxigênio para o meio suporte. A quantidade de N nitrificado no WCV foi, em média, 46 g.d<sup>-1</sup> (Figura 4). Esse valor corresponde a uma taxa de nitrificação de 1,87 g N m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>, considerada elevada, dentro da faixa típica reportada em WCV, que varia de 0,01 a 2,15 g N m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup> (MARTIN; REDDY, 1997; TANNER *et al.*, 2002). No entanto, apesar da elevada taxa de nitrificação, o WCV atingiu, em média, somente 27% de eficiência de nitrificação, já que recebeu elevadas cargas orgânicas afluentes, de 47 g DQO m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup> e 7 g NTK m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>. Essa última foi ligeiramente superior à taxa recomendada por Platzer (1999) para nitrificação efetiva em WCV, que é de 6,5 g NTK m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>.

A recirculação de efluente nitrificado proveniente do WCV para o TS resultou em desnitrificação. Ao considerar somente o TS, a eficiência de remoção de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> afluente foi de 97%. Em termos globais, para RR = 50% era esperado obter 33% de desnitrificação, com base na quantidade de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> recirculada [RR/(RR + 1)]. Nessas condições, a eficiência média

de desnitrificação obtida pelo sistema foi de 30%. Esses resultados mostram que o TS, além de atuar no tratamento primário dos esgotos, ofereceu condições para a desnitrificação.

Com relação à remoção de nitrogênio total (NT) no sistema de TS seguido de WCV com recirculação, a eficiência média foi de 42%. Essa maior remoção de NT, quando comparada à eficiência de desnitrificação do sistema (30%), indica a



DQO: demanda química de oxigênio; EB: esgoto bruto; TS: tanque séptico; WCV: *wetland* construído de escoamento vertical; DBO<sub>5</sub>: demanda bioquímica de oxigênio; SST: sólidos em suspensão totais; NT: nitrogênio total; NTK: nitrogênio total Kjeldahl; N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: nitrogênio amoniacal.

Fonte: elaborada pelos autores.

Nota: Nos gráficos de demanda química de oxigênio, demanda bioquímica de oxigênio e sólidos em suspensão totais, não constam os valores extremos encontrados para o esgoto bruto (3.985, 2.150 e 2.333 mg.L<sup>-1</sup>, respectivamente).

**Figura 3 -** Diagramas de caixas (*boxplot*) mostrando a distribuição dos valores de demanda química de oxigênio, demanda bioquímica de oxigênio, sólidos em suspensão totais, NT, nitrogênio total Kjeldahl e nitrogênio amoniacal.

ocorrência de outros processos de remoção de N, além da desnitrificação no TS, tais como: assimilação pelas plantas no WCV (BRIX, 1994, 1997; STEFANAKIS; TSIHRINTZIS, 2012; PELISSARI et al., 2014); desnitrificação no WCV (STEFANAKIS; TSIHRINTZIS, 2012; PRIGENT et al., 2013; SILVEIRA et al., 2015; PELISSARI et al., 2017); remoção por sedimentação no TS; e incorporação de N na biomassa do TS e do WCV (SUN; ZHAO; ALLEN, 2005). Todos esses processos podem ter contribuído, em maior ou menor grau, para a remoção de NT no sistema.

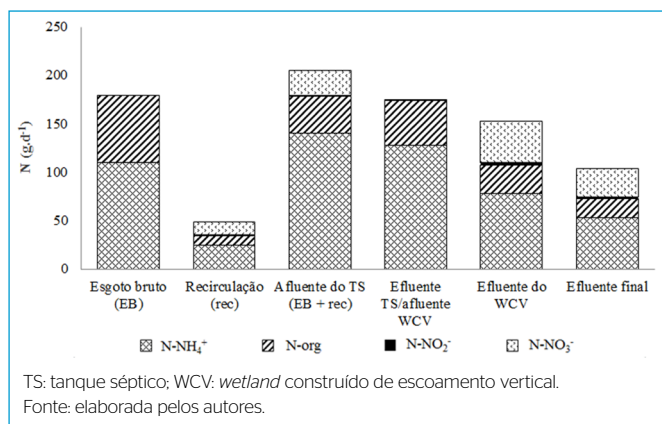
## Requisitos operacionais

O sistema de TS seguido de WCV com recirculação apresenta uma operação simples. No entanto, é indispensável seu acompanhamento por profissional com conhecimento técnico, a fim de garantir a operação adequada e, conseqüentemente, o bom desempenho do tratamento. O lodo excedente do TS deve ser removido periodicamente, dependendo do projeto, a cada um ou dois anos, para assegurar o bom funcionamento da unidade com relação à remoção de sólidos sedimentáveis. A tubulação de distribuição/alimentação de esgoto no WCV deve ser limpa periodicamente para remover lodo e biofilme, os quais podem bloquear os furos existentes. Além disso, revisões periódicas são necessárias para verificar o adequado funcionamento das

**Tabela 2** - Cargas médias e eficiências de remoção para demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio e sólidos em suspensão totais em diferentes pontos de amostragem.

Parâmetro	DBO <sub>5</sub>	DQO	SST
Cargas médias (g.d <sup>-1</sup> )			
Esgoto bruto (EB)	1150	1.966	1.256
Recirculação (rec)	97	191	92
Afluente do TS = EB + rec	1.247	2.157	1.348
Efluente do TS = afluente do WCV	539	1.151	733
Efluente do WCV	302	592	284
Efluente final	205	400	192
Eficiências em carga (%)			
Total	82	80	85
TS	57	47	46
WCV	44	49	61

DBO<sub>5</sub>: demanda bioquímica de oxigênio; DQO: demanda química de oxigênio; SST: sólidos em suspensão totais; TS: tanque séptico; WCV: *wetland* construído de escoamento vertical. Fonte: elaborada pelos autores.



**Figura 4** - Transformações e remoções médias de nitrogênio ocorridas no sistema tanque séptico/*wetland* construído de escoamento vertical.

unidades de tratamento e das bombas. Neste estudo, a recirculação foi feita por bombeamento. No entanto, é possível realizar o escoamento por gravidade, desde que a tubulação de saída do WCV esteja posicionada em cota superior ao TS. Para isso, basta dividir a tubulação de saída do WCV em duas, em formato Y, de modo que parte do efluente do WCV possa retornar ao TS (BRIX; ARIAS, 2005).

A *Canna* spp. adaptou-se muito bem às condições climáticas locais e de operação do WCV. Durante o período inicial de desenvolvimento das plantas, faz-se necessário verificar a presença de plantas daninhas e removê-las para evitar a competição dessas com as macrófitas. É importante realizar podas periódicas nas plantas, para mantê-las com aspecto saudável, além de assegurar a eficiência de fitoextração de nutrientes ao longo do tempo. Contudo, devem ser evitadas podas no final do outono e durante o inverno, para que as plantas possam atuar no isolamento da superfície do WCV contra o frio, fenômeno relevante na região Sul do Brasil. Em caso de incidência de pragas nas plantas, deve-se priorizar a utilização de produtos naturais para controle biológico de pragas, como o óleo de nim (*Azadirachta indica*). Esse produto foi utilizado neste trabalho por meio de aspersão nas plantas após diluição em água (5 mL de óleo/1.000 mL de água) e se mostrou eficiente para controle de lagartas na *Canna* spp.

Nenhum indício de colmatção foi observado no WCV após dois anos de operação da ETE. Em caso de colmatção em estágio avançado, recomenda-se deixar o WCV sem operar por algumas semanas a fim de recuperar parcialmente a condutividade hidráulica. Porém, se essa estratégia não produzir efeito, torna-se necessário remover a camada filtrante superficial colmatada e substituir por uma nova camada (BRIX; ARIAS, 2005). Destaca-se que a utilização de materiais de grande tamanho, como brita 1 e brita 2, tende a retardar o surgimento da colmatção em WCV.

## CONCLUSÕES

A recirculação demonstrou ser uma estratégia operacional com potencialidades para o tratamento descentralizado de efluentes domésticos, como forma efetiva de reduzir a quantidade de nitrogênio total dos esgotos. Em um sistema de TS seguido de WCV com 50% de recirculação e TAH no WCV de 85 mm.d<sup>-1</sup>, fracionada em oito pulsos por dia (11,3 mm cada pulso), foram obtidas boas eficiências para remoção de carga de DQO (80%), SST (85%) e NT (42%), mesmo o sistema recebendo elevadas cargas orgânicas afluentes. Ao longo de nove meses de monitoramento e 26 meses de operação do sistema, não ocorreram indícios de colmatção do meio suporte do WCV, as plantas do gênero *Canna* spp. adaptaram-se às condições climáticas locais e de operação, não foi percebida a emissão de odores nauseabundos e não ocorreram empoçamentos de esgoto na superfície do módulo WCV, o que evitou a proliferação de mosquitos. Além disso, o sistema demonstrou ser robusto e de operação simples, porém dependente de acompanhamento contínuo por profissional com conhecimento técnico para garantia de bom desempenho no tratamento. O sistema constituído de TS seguido de WCV com recirculação mostra-se como uma tecnologia de grande potencial para o tratamento do esgoto gerado em empreendimentos habitacionais e pode, dentro do contexto da descentralização, contribuir para a universalização do saneamento.

## CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Decezaró, S. T.: Investigação, Escrita – Primeira Redação. Wolff, D. B.: Conceituação, Obtenção de Financiamento, Administração do Projeto, Supervisão, Escrita – Revisão e Edição. Araújo, R. K.: Investigação, Escrita – Revisão e Edição. Carvalho Júnior, O.: Escrita – Revisão e Edição. Sezerino, P. H.: Conceituação, Escrita – Revisão e Edição.



## REFERÊNCIAS

- ABOU-ELELA, S.I.; HELLAL, M.S. Municipal wastewater treatment using vertical flow constructed wetlands planted with *Canna*, *Phragmites* and *Cyperus*. *Ecological Engineering*, v. 47, p. 209-213, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.06.044>
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington, D.C.: APHA, 2012.
- ARIAS, C.A.; BRIX, H.; MARTI, E. Recycling of treated effluents enhances removal of total nitrogen in vertical flow constructed wetlands. *Journal of Environmental Science and Health*, v. 40, n. 6-7, p. 1431-1443, 2005. <https://doi.org/10.1081/ese-200055882>
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 7217: Agregados - Determinação da composição granulométrica*. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 7229: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos*. Rio de Janeiro: ABNT, 1993.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 13969: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação*. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.
- BOHÓRQUEZ, E.; PAREDES, D.; ARIAS, C.A. Vertical flow-constructed wetlands for domestic wastewater treatment under tropical conditions: effect of different design and operational parameters. *Environmental Technology*, v. 38, n. 2, p. 199-208, 2017. <https://doi.org/10.1080/09593330.2016.1230650>
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama). *Resolução nº 430/2011: Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente*. Brasil: CONAMA, 2011.
- BRIX, H. Do macrophytes play a role in constructed treatment wetlands? *Water Science & Technology*, v. 35, n. 5, p. 11-17, 1997. [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(97\)00047-4](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(97)00047-4)
- BRIX, H. Functions of macrophytes in constructed wetlands. *Water Science & Technology*, v. 29, n. 4, p. 71-78, 1994. <https://doi.org/10.2166/wst.1994.0160>
- BRIX, H.; ARIAS, C.A. The use of vertical flow constructed wetlands for on-site treatment of domestic wastewater: New Danish guidelines. *Ecological Engineering*, v. 25, n. 1, p. 491-500, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2005.07.009>
- BRIX, H.; ARIAS, C.A.; JOHANSEN, N.H. BOD and nitrogen removal from municipal wastewater in an experimental two stage vertical flow constructed wetland system with recycling. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WETLAND SYSTEMS FOR WATER POLLUTION CONTROL, 8., 2002, Arusha. *Anais* [..]. Arusha: University of Dar Es Salam, 2002. p. 400-410.
- BRIX, H.; ARIAS, C.A.; JOHANSEN, N.H. Experiments in a two-stage constructed wetland system: nitrification capacity and effects of recycling on nitrogen removal. In: VYMAZAL, J. (org.). *Wetlands: nutrients, metals and mass cycling*. Leiden: Backhuys, 2003. p. 237-258.
- CHERNICHARO, C.A.L. *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Reatores anaeróbios*. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2016. v. 5.
- CUI, L.; OUYANG, Y.; LOU, Q.; YANG, F.; CHEN, Y.; ZHU, W.; LUO, S. Removal of nutrients from wastewater with *Canna indica* L. under different vertical-flow constructed wetland conditions. *Ecological Engineering*, v. 36, n. 8, p. 1083-1088, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.04.026>
- DECEZARO, S.T. *Nitrificação e remoção de matéria orgânica carbonácea e sólidos de efluente doméstico em wetland construído de fluxo vertical*. 143f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.
- DOTRO, G.; LANGERGRABER, G.; MOLLE, P.; NIVALA, J.; PUIGAGUT, J.; STEIN, O.; VON SPERLING, M. *Treatment Wetlands*. Biological Wastewater Treatment Series. Londres: IWA, 2017. v. 7. 154 p.
- HOFFMANN, H.; COSTA, T.B.; WOLFF, D.B.; PLATZER, C.; COSTA, R.H.R. The potential of denitrification for the stabilization of activated sludge processes affected by low alkalinity problems. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v. 50, n. 2, p. 329-337, 2007. <https://doi.org/10.1590/S1516-89132007000200018>
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Censo demográfico 2010*. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD): Domicílios - 2015*. Rio de Janeiro: IBGE, 2016. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/19897-sintese-de-indicadores-pnad2.html?edicao=9129&t=resultados>. Acesso em: 19 dez. 2019.
- LANGERGRABER, G.; DOTRO, G.; NIVALA, J.; RIZZO, A.; STEIN, O.R. (org.). *Wetland Technology: Practical Information on the Design and Application of Treatment Wetlands*. Londres: IWA, 2019. 167 p.
- MARTI, E.; ARIAS, C.A.; BRIX, H.; JOHANSEN, N.H. Recycling of treated effluents enhances reduction of total nitrogen in vertical flow constructed wetlands. *Publicationes Instituti Geographici Universitatis Tartuenssis*, v. 94, p. 150-155, 2003.
- MARTIN, J.F.; REDDY, K.R. Interaction and spatial distribution of wetland nitrogen processes. *Ecological Modelling*, v. 105, n. 1, p. 1-21, 1997. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(97\)00122-1](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(97)00122-1)
- METCALF; EDDY. *Tratamento de efluentes e recuperação de recursos*. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016. 1980 p.
- NIVALA, J.; WALLACE, S.; HEADLEY, T.; KASSA, K.; BRIX, H.; VAN AFFERDEN, M.; MÜLLER, R. Oxygen transfer and consumption in subsurface flow treatment wetlands. *Ecological Engineering*, v. 61, parte B, p. 544-554, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.08.028>
- PELLISSARI, C.; ÁVILA, C.; TREIN, C.M.; GARCÍA, J.; ARMAS, R.D.; SEZERINO, P.H. Nitrogen transforming bacteria within a full-scale partially saturated vertical flow constructed wetland treating urban wastewater. *Science of the Total Environment*, v. 574, p. 390-399, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.207>

- PELLISSARI, C.; SEZERINO, P.H.; DECEZARO, S.T.; WOLFF, D.B.; BENTO, A.P.; CARVALHO JUNIOR, O.; PHILIPPI, L.S. Nitrogen transformation in horizontal and vertical flow constructed wetlands applied for dairy cattle wastewater treatment in southern Brazil. *Ecological Engineering*, v. 73, p. 307-310, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.09.085>
- PLATZER, C. Design recommendation for subsurface flow constructed wetlands for nitrification and denitrification. *Water Science & Technology*, v. 40, n. 3, p. 257-263, 1999. [https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(99\)00420-5](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(99)00420-5)
- PRIGENT, S.; PAING, J.; ANDRES, Y.; CHAZARENC, F. Effects of a saturated layer and recirculation on nitrogen treatment performances of a single stage Vertical Flow Constructed Wetland (VFCW). *Water Science & Technology*, v. 68, n. 7, p. 1461-1467, 2013. <https://doi.org/10.2166/wst.2013.359>
- SAEED, T.; SUN, G. A review on nitrogen and organics removal mechanisms in subsurface flow constructed wetlands: Dependency on environmental parameters, operating conditions and supporting media. *Journal of Environmental Management*, v. 112, p. 429-448, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.08.011>
- SCHROEDER, A.K. *Avaliação de tecnologias normatizadas e wetlands construídos empregados no tratamento descentralizado de esgoto por meio de análise multicriterial*. 139f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020.
- SILVEIRA, D.; BELLI FILHO, P.; PHILIPPI, L.S.; KIM, B.; MOLLE, P. Influence of partial saturation on total nitrogen removal in a single-stage French constructed wetland treating raw domestic wastewater. *Ecological Engineering*, v. 77, p. 257-264, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.01.040>
- SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). *Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2018*. SNIS, 2018. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/>. Acesso em: 19 dez. 2019.
- STEFANAKIS, A.; AKRATOS, C.S.; TSIHRINTZIS, V.A. *Vertical Flow Constructed Wetlands: Eco-engineering Systems for Wastewater and Sludge Treatment*. Newnes, 2014. 392 p.
- STEFANAKIS, A.I.; TSIHRINTZIS, V.A. Effects of loading, resting period, temperature, porous media, vegetation and aeration on performance of pilot-scale vertical flow constructed wetlands. *Chemical Engineering Journal*, v. 181-182, p. 416-430, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.11.108>
- SUN, G.; ZHAO, Y.; ALLEN, S. Enhanced removal of organic matter and ammoniacal-nitrogen in a column experiment of tidal flow constructed wetland systems. *Journal of Biotechnology*, v. 115, n. 2, p. 189-197, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2004.08.009>
- TANNER, C.C.; KADLEC, R.H.; GIBBS, M.M.; SUKIAS, J.P.; NGUYEN, M.L. Nitrogen processing gradients in subsurface flow treatment wetlands— influence of wastewater characteristics. *Ecological Engineering*, v. 18, n. 4, p. 499-520, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0925-8574\(02\)00011-3](https://doi.org/10.1016/S0925-8574(02)00011-3)
- VON SPERLING, M. *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 3 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. v. 1.
- VON SPERLING, M.; SEZERINO, P.H. Dimensionamento de wetlands construídos no Brasil. *Boletim Wetlands Brasil*, ed. esp., dez. 2018. 65 p.

