

# Viabilidade econômica de sistema de tratamento de esgoto composto com *wetlands* visando ao reúso de efluente: estudo de caso

Robson Muniz McMahan Waite<sup>1</sup>

Eduardo Gomes Salgado<sup>2</sup>

Dirlane de Fátima do Carmo<sup>3</sup>

## Resumo

A água é um bem que vem se tornando escasso e o reúso é uma alternativa para preservá-la. A viabilidade social e a ambiental motivam a adoção do reúso, mas o fator financeiro pode ser limitante ao seu emprego. O objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade econômica financeira para o investimento em um sistema de tratamento de efluente doméstico em que as *wetlands* construídas pudessem ser empregadas visando ao reúso para irrigação. Foram utilizados instrumentos como a taxa mínima de atratividade; o *payback* descontado; a taxa interna de retorno e o índice de lucratividade. O sistema de tratamento, composto por um tanque de equalização, um tanque séptico, uma *wetland* construída de fluxo subsuperficial horizontal, uma *wetland* construída de fluxo superficial e uma lagoa de maturação, compreendeu 52,0 m<sup>2</sup>, demonstrando ser capaz de atender aos critérios exigidos para reúso. A carga orgânica afluyente ao sistema foi projetada para 220,0 mgL<sup>-1</sup> em uma vazão de 600,0 L dia<sup>-1</sup> de esgoto, obtendo-se eficiência de remoção superior a 98% para todos os parâmetros, exceto nitrogênio e fósforo. Na análise de viabilidade econômica e financeira (EVEF), verificou-se que a taxa interna de retorno encontrada para o fluxo de caixa considerado foi de 98,0% e o índice de lucratividade acatando o valor presente foi de 3,28. Verificou-se que o total investido seria recuperado em até dois anos. Com a utilização do sistema seriam poupados anualmente 180,0 m<sup>3</sup> de água, reduzindo a pressão sobre o sistema de abastecimento público, além do tratamento do esgoto e da beleza cênica proporcionados pelas *wetlands*. Portanto, o sistema não se limita apenas a ganhos econômicos, mas também a ganhos sociais e ambientais.

**Palavras-chave:** EVEF. Reutilização. Água residuária.

## Introdução

Nos últimos anos a escassez hídrica no Brasil tem sido frequente notícia veiculada nos meios de comunicação social. A outorga dos direitos de uso dos recursos hídricos e a cobrança por essa utilização, instrumentos estabelecidos pela Política Nacional de Recursos Hídricos em 1997, conduziram muitas indústrias e estabelecimentos comerciais a um novo modelo de gerenciamento de água, pautado em estratégias de conservação deste recurso, baseadas principalmente em racionalização e reúso (AQUINO, 2015; WEBER; CYBIS; BEAL, 2010; DEMAJOROVIC; CARUSO; JACOBI, 2015).

1 Universidade Federal Fluminense, Departamento de Engenharia Agrícola e Meio Ambiente, *Campus* da Praia Vermelha, Niterói/RJ. [robsonwaite@hotmail.com](mailto:robsonwaite@hotmail.com).

2 Universidade Federal de Alfenas. Professor associado. [egsalgado@yahoo.com.br](mailto:egsalgado@yahoo.com.br).

3 Universidade Federal Fluminense. Professora Associada. [dirlanefc@id.uff.br](mailto:dirlanefc@id.uff.br).

Desta forma, para as indústrias, reusar na medida do possível os próprios efluentes após tratamento adequado é uma opção mais atrativa, com custos de implantação e de operação inferiores aos associados à captação e ao tratamento de águas de mananciais ou à compra de água oferecida por empresas de saneamento, tanto de sistemas potáveis quanto de sistemas de água de reúso (FIESP, 2005). Programas de reúso de água na indústria podem obter uma redução de consumo deste recurso em até 80,0% (RIBEIRO, 2012). Entretanto, de acordo com Ribeiro (2012), o crescimento do reúso no Brasil é ainda muito pequeno em relação a seu potencial.

No Brasil ainda não há uma legislação federal sobre reúso. É permitido o reúso não potável da água como uma prática de racionalização, sendo as diretrizes estabelecidas na Resolução nº 54 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH, 2005), a qual apresenta, entre outras vantagens, a redução na descarga de poluentes em corpos receptores e a conservação dos recursos hídricos para o abastecimento público e outros usos que exigem maior qualidade. Entretanto, para o reúso direto planejado, apresentado na Resolução 54 (CNRH, 2005), há a necessidade de investir no tratamento, seja por sistemas biológicos, físico-químicos ou mistos. Porém são raros os processos que utilizam pouca ou nenhuma energia; não requerem o emprego de químicos; têm baixo custo de implantação, operação e manutenção. Deve ser destacado, portanto, o sistema de *wetlands* construídas (WC), que é capaz de mesclar todas essas características e pode vir a ser uma solução natural para grande parte das dificuldades encontradas.

As *wetlands* construídas modernas são sistemas projetados para enfatizar e melhorar características específicas dos sistemas naturais de purificação da água e manejo dos resíduos, com a decomposição e captura de nutrientes e contaminantes (RUSSI et al., 2013). Há, portanto, diferentes configurações quanto: ao fluxo (fluxo superficial ou subsuperficial); à vegetação (plantas flutuantes, emergentes ou submersas); ao escoamento (horizontal ou vertical) (WALLACE; KNIGHT, 2006).

A eficiência no tratamento de poluentes varia de um modelo para o outro. Segundo Kayombo et al. (2004), as *wetlands* construídas de fluxo sub-superficial são sistemas apropriados para o tratamento de efluentes primários, uma vez que não existe contato entre o efluente e a atmosfera, enquanto as *wetlands* construídas de fluxo superficial são indicadas para o tratamento de efluente secundário, terciário e para prover *habitat* para seres vivos. Os mecanismos de remoção de poluentes encontrados nas *wetlands* são diversos (MARQUES, 1999): sedimentação, filtração, precipitação e adsorção química, além de interações microbianas e complexação.

Usualmente as *wetlands* não atendem ao padrão de lançamento de efluentes exigidos na legislação, tais como o apresentado na Resolução 430 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA, 2011). De modo geral, *wetlands* construídas têm sido utilizadas como sistemas de pós-tratamento ou polimento, o que é considerado um tratamento terciário, e sua aplicação para águas residuárias com alta carga orgânica ainda é limitada (CHIEMCHAI SRI et al., 2009). O maior interesse no emprego de *wetlands* nas últimas décadas se deve ao custo de construção e manejo relativamente baixos comparados às demais alternativas (JOHANSSON et al., 2004). Como as *wetlands* são construídas usando mão de obra e material local não é possível apresentar estimativas de custos universais, aplicáveis a todos os sistemas de tratamento (WALLACE; KNIGHT, 2006), mas é possível fazer um estudo da viabilidade econômica e financeira que permitirá por meio das projeções e números indicar o potencial retorno do investimento.

Apesar de o Brasil apresentar um enorme potencial para o emprego das WCs, devido ao fato de se situar nos trópicos e possuir um inverno sem neve na maior parte de seu território, poucas

pesquisas são feitas a respeito do emprego das WCs no país quando comparada a outras formas de tratamento. No Plano Nacional de Saneamento básico, por exemplo, ao apresentar as necessidades de investimentos para as unidades de tratamento de esgoto considerando os anos-base de 2014, 2018, 2023 e 2033, foi feita a conjugação de tecnologias envolvendo reatores anaeróbios de fluxo ascendente, filtros biológicos percoladores, lagoas de estabilização e sistema de lodos ativados (PLANSAB, 2013), por serem os métodos comumente utilizados no país. Assim, os métodos de dimensionamento para a construção de *wetlands* utilizados no Brasil são, em sua grande maioria, modelados para a região temperada do globo, como os métodos de Reed et al. (1995), Kadlec e Knight (1996) e Platzer (1998).

As vantagens ambientais e estéticas do emprego de WC para tratamento de águas residuárias são apontadas em diversos trabalhos, mas ainda são incipientes as avaliações de viabilidade econômica de seu emprego.

Na opinião de Padoveze (2005), o investimento em um projeto deve ser avaliado em relação ao seu retorno. Assim, pelos critérios econômicos, os projetos com maior aceitação terão o valor presente líquido positivo (VPL) ou igual a zero, ou terão a maior taxa interna de retorno, a critério da empresa. Adicionalmente, de acordo com Salles (2004), a análise financeira de projetos é usualmente baseada em estimativas para o fluxo de caixa futuro do projeto, obtidas a partir de previsões para diversas variáveis. A análise inicial do fluxo de caixa é feita através de valores representativos para as variáveis consideradas, permitindo o cálculo de indicadores financeiros determinísticos. Ainda segundo Salles (2004), para conseguir financiamento de credores suficiente que garanta o custo de elaboração de um projeto, de forma a convencê-los a investir, é preciso provar a viabilidade econômico-financeira do empreendimento e sua capacidade de garantir o crédito para o pagamento da dívida do financiamento.

A aplicação do estudo de viabilidade econômica e financeira (EVEF), portanto, pode auxiliar na decisão pela implantação de um projeto que apresenta viabilidade ambiental e social. Costa et al (2014), por exemplo, demonstraram a viabilidade da implantação de um laboratório de tratamento e recuperação de resíduos químicos em um órgão público com a aplicação do EVEF.

Assim, o objetivo no presente trabalho foi avaliar a viabilidade econômica financeira do uso de *wetlands* com auxílio de uma lagoa de maturação e de um tanque séptico para tratamento de esgoto doméstico visando ao reúso. Foram utilizados instrumentos como a taxa mínima de atratividade; o *payback* descontado; a taxa interna de retorno e o índice de lucratividade para o investimento em um sistema de tratamento de água residuária em que as WCs pudessem ser empregadas para tratamento e reúso de água.

## Material e métodos

Para o desenvolvimento deste trabalho foi escolhido como estudo de caso o Centro de Pesquisa de Energia Elétrica (CEPEL) da Eletrobrás, localizado na cidade universitária Ilha do Fundão, Rio de Janeiro. O CEPEL foi criado em 1974, por iniciativa da Eletrobrás. A escolha do CEPEL teve como critérios sua importância no cenário do pioneirismo em energia sustentável, sua representatividade, visto que é o maior centro de energia elétrica da América do Sul e sua contribuição à promoção do desenvolvimento sustentável (CEPEL, 2015).

Foi feito um dimensionamento para parte do efluente gerado visando ao reúso. Os efluentes gerados na unidade Fundão do CEPEL não se enquadram como industriais, pois apesar de possuir laboratórios, os efluentes gerados por esses laboratórios são armazenados em bombonas plásticas

homologadas e destinados a uma empresa de tratamento licenciada. Para a realização deste trabalho foram utilizados valores médios de efluente de esgoto doméstico apontados por Metcalf e Edy (2003), conforme Tabela 1:

**Tabela 1** – Caracterização do efluente estimado para dimensionamento do sistema de tratamento do CEPTEL.

Parâmetros	Unidades	Valores médios
SST	mg L <sup>-1</sup>	220,0
Turbidez	UNT	160,0
DBO	mg L <sup>-1</sup>	220,0
DQO	mg L <sup>-1</sup>	500,0
Nitrogênio total	mg L <sup>-1</sup>	40,0
Fosforo total	mg L <sup>-1</sup>	8,0
Coliformes totais	org.100mL <sup>-1</sup>	10 <sup>9</sup>

**Fonte:** Elaboração dos autores (2015).

Na proposta do sistema de tratamento, o objetivo era o reúso para irrigação porque requereria menos tratamento e seria mais econômico, não demandaria grandes reformas na instalação hidrosanitária do Cepel e, considerando a estimativa de consumo de 15 m<sup>3</sup> mês<sup>-1</sup>, a utilização de água de reúso representaria uma economia de 180 m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>. Havia, portanto, a necessidade de uma mínima qualidade adequada que não seria alcançada apenas com as *wetlands*. Assim, o sistema foi composto por reatores biológicos para manter um baixo custo de operação, sendo desta forma: um tanque de equalização (te), um tanque séptico (ts), uma *wetland* construída de fluxo sub-superficial horizontal (HWFSS), uma *wetland* construída de fluxo superficial (WFS) e uma lagoa de maturação. O tanque de equalização foi dimensionado segundo Embrapa (2015) e o tanque séptico de acordo com a norma brasileira da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 7229/93 (ABNT, 1993). As WCs foram dimensionadas utilizando as equações do modelo de Reed et al. (1995) para ambos os tipos de WC. Adicionalmente, a lagoa de maturação foi dimensionada utilizando o método proposto por Von Sperling (2006). Os parâmetros de projeto adotados estão apontados na Tabela 2 para um volume de esgoto afluente diário de 600 L dia<sup>-1</sup>:

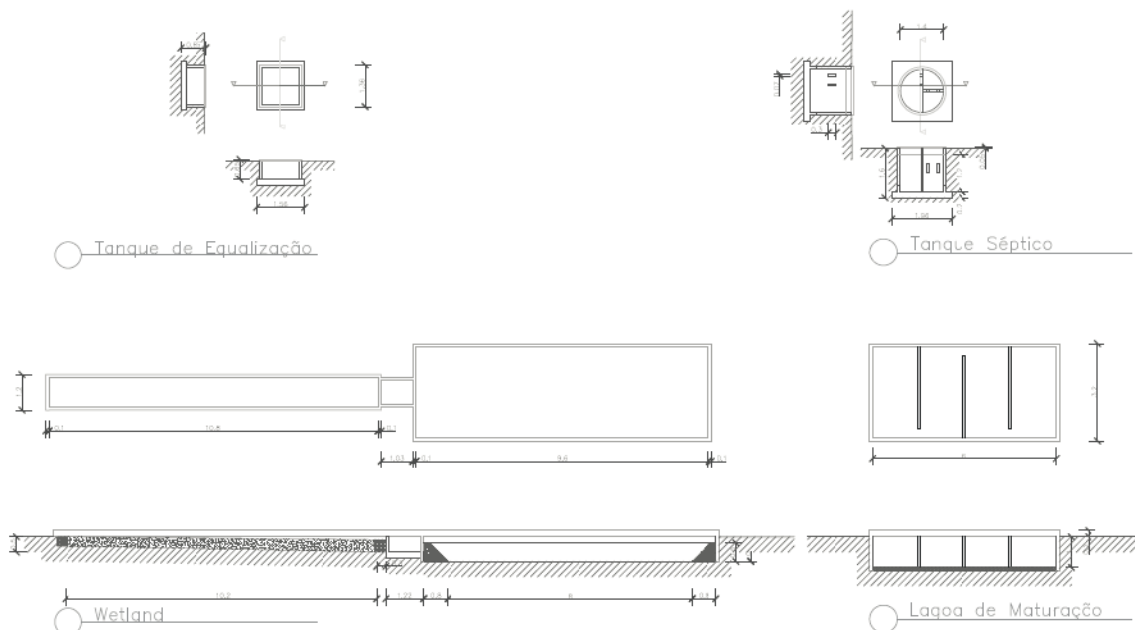
**Tabela 2** – Parâmetros básicos utilizados para o dimensionamento dos reatores.

Reatores	Tempo de detenção (dias)	Carga Orgânica volumétrica afluente (mg L <sup>-1</sup> )
TE	1	220,00
TS	1	220,00
HWFSS	2	88,00
WFS	11	14,33
Lagoa de maturação	20	0,00

**Fonte:** Elaboração dos autores (2015).

Na Figura 1 estão representados os componentes do sistema utilizado no presente trabalho:

**Figura 1** – Sistema projetado para o tratamento dos efluentes da CEPEL.



**Fonte:** Elaboração dos autores (2015).

Como o objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade técnica e econômica de um sistema proposto para reúso sem grandes modificações na estrutura hidráulica da empresa, este projeto foi dimensionado para atender ao consumo da irrigação dos jardins ( $0,6 \text{ m}^3/\text{dia}^{-1}$ ) e para enquadramento na classe 2 de água de reúso da norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 13.696 (ABNT, 1997).

O sistema de tratamento com  $52,0 \text{ m}^2$  foi orçado com o software Volare de orçamento, planejamento e controle de obras. O Volare trabalha com a base de dados do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), que possibilita aos usuários elaborar orçamentos com composições aceitas pelos principais órgãos públicos do Brasil.

Para o estudo de viabilidade econômica e financeira (EVEF), foi empregada a taxa mínima de atratividade (TMA), que é uma taxa que varia de acordo com a política praticada por cada empresa, podendo ser definida como a taxa de desconto ou a TMA mais apropriada para decisões de investimento, como a taxa do custo de capital (SCHROEDER, 2005). No presente trabalho foi estipulado um valor para a TMA de acordo com a taxa anual de poupança no Brasil em 2015 (6% a.a.), por ser a aplicação mais estável e segura do mercado financeiro. Foram acrescentados 4,5% (referente à taxa de inflação no Brasil em 2015) de risco, por ser um sistema com risco considerável. Logo, obteve-se uma  $TMA = 10,5\% \text{ a.a.}$

Outro instrumento utilizado foi o *payback* descontado. *Payback* descontado é o tempo exato necessário para empresa recuperar o investimento inicial, a partir das entradas de caixa, utilizando a taxa de atratividade definida previamente, de forma a considerar o valor do dinheiro no tempo.

Finalmente, foram empregados a taxa interna de retorno (TIR) e o índice de lucratividade (IL). A taxa interna de retorno é o cálculo da taxa de desconto que teria um determinado fluxo de caixa para igualar a zero seu valor presente líquido, isto é, a taxa do retorno do investimento

realizado, enquanto o índice de lucratividade é a medida relativa entre o valor presente dos fluxos de caixa recebidos e o investimento inicial. A TIR pode ser calculada de acordo com a seguinte expressão de Rêgo et al. (2013):

$$TIR = \sum_{t=1}^N \frac{FCt}{(1+i)^t} = 0 \quad (1)$$

em que:

FCt: fluxo de Caixa

N: duração do projeto

i: taxa de retorno

t: cada período

O método do VPL, ou método do fluxo de caixa descontado, segundo Rêgo et al. (2013), tem por objetivo compreender o fluxo de caixa de um projeto. Se o VPL for positivo, o projeto é aceito, isto é, temos o investimento recuperado e remunerado a uma taxa que supera a TMA. O VPL é dado pela seguinte fórmula de Rêgo et al. (2013):

$$VLP = -I + \sum_{t=1}^N \frac{FCt}{(1+r)^t} + \frac{VR}{(1+r)^n} \quad (2)$$

em que:

I: investimento inicial

FCt: fluxo de caixa líquido na data "t"

N: duração do projeto

n: número de períodos do projeto

t: cada período

r: custo de capital definido pela empresa

VR: valor residual do projeto ao final do período de análise

O método do índice de lucratividade considera a razão entre o valor presente do fluxo de caixa e o Valor Inicial do Investimento. Pode ser calculado pela seguinte fórmula de Rêgo et al. (2013):

$$IL = \frac{VP}{I_0} \quad (3)$$

em que:

IL: índice de lucratividade

VP: valor presente

I<sub>0</sub>: Investimento inicial do projeto

O projeto será recomendável sempre que o IL for superior a um. No caso em que o IL for igual a um, significa que o valor investido será pago apenas, e o projeto se mostrará inviável para valores de IL abaixo de um.

## Resultados e discussão

Na avaliação da aplicação do reúso nas instalações do CEPEL, verificou-se que as principais alternativas seriam para a lavagem de automóveis, a descarga de sanitários e a irrigação de jardins. Porém, com base nos dados cedidos pelo CEPEL, a irrigação de jardins não iria requerer grandes

reformas na instalação hidrossanitária e implicaria redução do consumo de  $15,0 \text{ m}^3\text{mês}^{-1}$  de água de abastecimento, o que implicaria uma economia de  $180 \text{ m}^3\text{ano}^{-1}$ .

O sistema foi estruturado de forma que o tanque de equalização dimensionado segundo EMBRAPA (2015), com  $0,6 \text{ m}^3$  de volume útil, funcionasse como um regulador da vazão de entrada, enquanto o tanque séptico, dimensionado segundo a NBR 7229 (ABNT, 1993), de formato cilíndrico com três câmaras de  $1,8 \text{ m}^3$  de volume útil, tivesse a função principal de redução da quantidade de sólidos suspensos totais (SST) do afluyente da *wetland* construída de fluxo subsuperficial horizontal (hWCFSS). Deve-se ressaltar que o entupimento da zona de descarga é um problema comum nas HWFSS, é esperado que com o tanque séptico precedendo-a isso não ocorra.

A eficiência teórica do tanque séptico foi estabelecida a partir de dados da literatura coletados por Ávila (2005). Assim, foi estimada eficiência de 80,0% ( $176,0 \text{ mgL}^{-1}$ ) para remoção de sólidos solúveis totais; 74,0% ( $118,40 \text{ unT}$ ) para a redução da turbidez; 60,0% para a remoção da DBO e da DQO ( $132,00 \text{ mg L}^{-1}$  e  $300,00 \text{ mgL}^{-1}$ , respectivamente); 12,0% ( $4,8 \text{ mgL}^{-1}$ ) de remoção para o Nitrogênio total; 6,70% ( $0,536 \text{ mgL}^{-1}$ ) de eficiência na remoção de fósforos totais; 25,30% ( $2,53 \times \text{Ct Org. } 100 \text{ ml}^{-1}$ ) de eficiência para a remoção de coliformes totais.

A HWFSS precedendo a WFS também foi posicionada no intuito de que o efluente só entrasse em contato com a atmosfera na terceira etapa de tratamento, visando evitar o mau cheiro. As WCs foram dimensionadas utilizando as equações do modelo de Reed et al. (1995) para ambos os tipos de WCs. O modelo presume que as transformações químicas sejam irreversíveis e ocorram sob uma taxa homogênea proporcional à concentração de partículas, ou seja, com reações cinéticas de primeira ordem. De acordo com o modelo de Reed et al. (1995), considerou-se que as reações ocorreriam com vazão de entrada não nula e igual à vazão de saída, com o tempo de detenção de partículas igual ao tempo de detenção hidráulico, isto é, com um modelo hidráulico de escoamento tipo pistão. Esta abordagem, de que as WCs funcionem como reatores de fluxo tipo pistão com reações de primeira ordem, ignora a influência de fatores como precipitação, evapotranspiração e padrões de escoamento não ideais (CHAGAS, 2011).

A área superficial foi estimada segundo Troesch et al. (2012), que recomendam valores de  $2,0 \text{ m}^2$  por contribuinte. A vazão de  $0,6 \text{ m}^3\text{dia}^{-1}$  usada para o projeto de acordo com a NBR 7229 (ABNT, 1993) é referente a 12 contribuintes, considerando que para esse tipo de empreendimento a contribuição por pessoa é de 50,0 litros. Assim, seriam necessários  $24,0 \text{ m}^2$ , os quais seriam divididos entre a HWFSS e a WFS. Entretanto, devido à qualidade desejada, visto que a proposta era a reutilização do efluente, foi adotada uma área de  $10,0 \text{ m}^2$  para a HWFSS e aumentou-se a área da WFS para  $24,0 \text{ m}^2$ , com o objetivo de atingir a eficiência planejada.

As macrófitas previstas para serem utilizadas na HWFSS e WFS, respectivamente, foram taboa (*Typha sp*) e aguapé (*Eichornia crassipes*), com profundidades de acordo com a necessidade das raízes, isto é, a profundidade taboa de 0,30 m (BRASIL et al., 2007) e a da aguapé de 0,6 m (RIBEIRO, 1986).

O método de dimensionamento de Reed et al. (1995) não possui equações para calcular a redução da demanda química de oxigênio (DQO), de nitrogênio total (NT) e da turbidez, assim, a eficiência desses itens também foi estimada a partir de dados da literatura. Jorge (2013) indica que para uma WFS que utiliza como vegetação a aguapé, há eficiência de 95,0% para redução da turbidez, de 98,50% para redução da DQO e de 6% de redução para NT (JORGE, 2013). A Tabela 2 resume a eficiência teórica de cada etapa do sistema proposto.



Finalizando o sistema, foi dimensionada uma lagoa de maturação com 18,0 m<sup>3</sup> para polimento dos efluentes, em especial, para remoção de coliformes fecais.

Pode ser observado na Tabela 3 que o sistema proposto, pela qualidade do efluente gerado, é capaz de atender aos critérios exigidos para enquadramento na classe 2 de água de reúso da NBR 13.696 (ABTN, 1997). Os valores de eficiência de remoção estão acima de 98,0% para todos os parâmetros, com exceção do nitrogênio e do fósforo total, o que por sua vez é benéfico, uma vez que o reúso do efluente pretendido é na irrigação de jardins e ambos são elementos nutricionais para a vegetação. É, portanto, um sistema viável tecnicamente para atender ao objetivo de reúso.

**Tabela 3** – Eficiência do sistema ponderando cada parte que o compõe.

Parâmetros	Efluente Cepel	Ts	WFSs	WFS	Lm	Efluente Cepel
	Entrada					Remoção
SST (mg L <sup>-1</sup> )	220	176*	38,17 <sup>1</sup>	5,13 <sup>1</sup>	0	0,69
Turbidez (unT)	160	118,4*	0,00	39,52*	0	2,08
DBO (mg L <sup>-1</sup> )	220	132*	73,67 <sup>1</sup>	14,25 <sup>1</sup>	0	0,07
DQO (mg L <sup>-1</sup> )	500	300*	0,00	197*	0	3,00
Nt (mg L <sup>-1</sup> )	40	4,8*	0,00	21,12*	0	14,08
Ft (mg L <sup>-1</sup> )	8	0,536*	2,72 <sup>1</sup>	3,15 <sup>1</sup>	0	1,59
Ct org 100ml <sup>-1</sup>	1 x 10 <sup>8</sup>	2,53 x 10 <sup>7</sup> *	5,27 x 10 <sup>7</sup> **	2,5 x 10 <sup>7</sup> **	1,5 x 10 <sup>6</sup> **	300,41

\* valores estimados; <sup>1</sup>valores teóricos

**Fonte:** Elaboração dos autores (2015).

O orçamento do projeto básico do sistema de tratamento proposto foi elaborado com os serviços necessários separados nos seguintes grupos: movimento de terra; impermeabilização; pré-tratamento; alvenaria e serviços adicionais.

Para o movimento de terra, seria necessário escavar 75,04 m<sup>3</sup>, em que apenas 7,07 m<sup>3</sup> retornariam para vala, o restante (67,97 m<sup>3</sup>) deveria ser removido por caminhões.

O serviço de impermeabilização demandaria 86,40 m<sup>2</sup> de geomembrana em polietileno de alta densidade com 2,5 mm de espessura, para assegurar a integridade de qualquer lençol freático existente no local e ainda seria aplicado 53,69 m<sup>2</sup> de tinta impermeabilizante em toda a alvenaria.

O sistema de pré-tratamento requereria 39,76 m<sup>2</sup> de formas de madeira, uma vez que não há um sistema sob medida, não sendo encontradas peças pré-fabricadas no mercado, também seriam necessários 6,43 m<sup>3</sup> de concreto para sua construção.

As WCs foram projetadas com jardineiras delimitando-as de forma a conter qualquer extrapolação de efluente, bem como para diferenciar a WC dos demais jardins. Assim, foram contabilizados 52,56 m<sup>2</sup> de alvenaria.

Os serviços adicionais englobariam os serviços do sistema hidrossanitário necessário e outros serviços pequenos dentro da execução do projeto. O valor final contemplando todos os encargos sociais, exigências de segurança para os trabalhadores e demais taxas foi calculado em 10.006,92 dólares, com um tempo de construção estimado do projeto de 30 dias (um mês).

Tendo como base o valor de 10.006,92 dólares do orçamento do projeto básico e considerando no fluxo de caixa uma taxa de 10,0% de aumento anual no valor das despesas do primeiro ano



(\$ 2766,57), taxa de aumento baseada na inflação brasileira do ano 2015 e que os ganhos (\$ 12.861,24) não foram alterados, pois foi tido que o tamanho da organização é constante, o estudo da viabilidade econômica e financeira elaborado demonstrou que o período de retorno do investimento é de apenas dois anos, como pode ser observado na Tabela 4 do *payback* descontado, considerando taxa mínima de atratividade (tma) de 10,5% a.a.

A Taxa Interna de Retorno (tir) encontrada para o fluxo de caixa considerado foi de 98,0, aproximadamente dez vezes maior que o valor da tma (98,0% > 10,5%). Desta forma, verifica-se que o projeto é economicamente viável.

O índice de lucratividade encontrado (IL), considerando o valor presente, foi de 3,28. Segundo Rêgo et al. (2013), o valor de  $IL > 1$  significa que o investimento será recuperado, remunerado ao menos à taxa exigida e haverá ainda um aumento de riqueza. A viabilidade do projeto é constada pelo valor de  $tir > tma$ .

**Tabela 4** – Payback Descontado.

Tempo Ano	Fluxo de Caixa (dólar)	Valor presente (dólar)	Valor Acumulado (dólar)
0	-10.006,92	-10.006,92	-10.006,92
1	10.094,66	9.135,44	-871,48
2	9.818,01	8.040,79	7.169,31
3	9.513,68	7.051,18	14.220,49
4	9.178,93	6.156,63	20.377,12
5	8.810,70	5.348,09	25.725,21
6	8.405,64	4.617,40	30.342,61
7	7.960,09	3.957,14	34.299,75
8	7.469,97	3.360,63	37.660,38
9	6.930,84	2.821,80	40.482,18
10	6.337,81	2.335,16	42.817,34

**Fonte:** Elaboração dos autores (2015).

Portanto, o estudo de viabilidade econômica do projeto demonstrou que o total investido será recuperado em até dois anos e que a viabilidade do projeto está garantida com índice de lucratividade quatro vezes superior ao valor necessário para haver recuperação. É ainda previsto um aumento da riqueza e uma taxa interna de retorno dez vezes superior à taxa mínima de atratividade.

Para comparação do presente trabalho com outros, foi preciso fazer conversões monetárias. Desta forma, o valor do euro considerado foi de 1,10 dólares (cotação de 11 de agosto de 2015, às 19 horas e 32 minutos) e de 3,85 reais (cotação de 11 de agosto de 2015, às 20 horas e 18 minutos), com dados obtidos na cotação do Banco Central (BCB, 2015).

Devido à escassez de avaliações econômicas de projetos empregando WC no Brasil, foram utilizados trabalhos realizados fora do país de forma a comparar com os dados obtidos no presente trabalho. Foram encontrados dois projetos com estudo de viabilidade para a comparação, um deles compreende um tanque séptico padrão e uma WFSS com dois leitos de 25,0 m<sup>2</sup>, dimensionada por Hoddinott (2006) para atender a uma casa com cinco contribuintes sem reúso do efluente,

no estado de Ohio (Estados Unidos da América), sendo empregada uma área aproximada de 50,0 m<sup>2</sup>. O segundo foi um projeto de Albold (2011), desenvolvido para uma estação descentralizada construída em Vidrare, na Bulgária, que compreendia um tanque séptico de 18,0 m<sup>3</sup> com 3,0 m<sup>2</sup> de área e dois leitos de WFSSs com 133,0 m<sup>2</sup> dimensionados utilizando o Guia Nacional Alemão para opções de tratamento sustentável. O sistema de Albold (2011) visava ao atendimento de uma comunidade com 95 contribuintes, tendo sido empregada uma área de aproximadamente 269,0 m<sup>2</sup>. Ambos os sistemas contemplam tratamento primário e secundário, tendo como destino final o lançamento em rios.

Na Tabela 5 estão resumidos os resultados obtidos no presente trabalho e os dos resultados dos trabalhos utilizados para a comparação. Pode-se verificar que o preço por contribuinte do presente trabalho (CEPEL) não está muito distante dos preços do projeto de Albold (2011), porém é quase a metade do valor por contribuinte do projeto de Hoddinott (2006).

**Tabela 5** – Custo dos projetos utilizados para comparação com os resultados do presente trabalho.

Projeto	Albold (2011)	Hoddinott (2006)	CEPEL
Número de Contribuintes	95	5	12
Área empregada na WC	266,0 m <sup>2</sup>	50,0 m <sup>2</sup>	52,0 m <sup>2</sup>
Volume do Tanque Séptico	18,0 m <sup>3</sup>		2,4 m <sup>3</sup> *
Serviços da Construção do Projeto	Custo		
Escavação e Canalização	\$ 13.264,69	NF	\$ 2.606,90
Pré-tratamento (concreto)	\$ 6.632,34	NF	\$ 1.432,83
Impermeabilização do solo	\$ 6.632,34	NF	\$ 1.035,02
Substrato da <i>Wetland</i> Construída	\$ 7.737,74	NF	\$ 1.553,76
Instalações hidrossanitárias	\$ 15.475,47	NF	\$ 3.378,41
Total	\$ 49.742,58	\$ 8.000,00	\$ 10.006,92
Custo por Contribuinte	\$ 523,61	\$ 1.600,00	\$ 833,91

nf – dados não informados; \* tanque de equalização + tanque séptico

**Fonte:** Elaboração dos autores (2015)

Os projetos de Albold (2011) e do CEPEL, por possuírem informações mais detalhadas, permitem uma comparação mais completa. O custo de escavação do projeto de Albold (2011) foi avaliado em 49,87 dólares por metro quadrado, praticamente o mesmo valor do projeto da CEPEL de 50,13 dólares por metro quadrado. O pré-tratamento do projeto de Albold (2011) foi estimado em 368,46 dólares por metro cúbico, um valor um pouco mais baixo do valor do projeto da CEPEL de 597,01 dólares, porém o pré-tratamento do projeto da CEPEL conta também com um sistema de tanque de equalização. A impermeabilização do solo do projeto de Albold (2011) foi orçado em 24,93 dólares por metro quadrado, enquanto o projeto da CEPEL foi orçado em 19,90 dólares. O custo do substrato no projeto de Albold (2011) foi de 29,09 dólares por metro quadrado, valor muito próximo do valor do projeto da CEPEL de 29,88 dólares por metro quadrado. As instalações hidrossanitárias não foram comparadas, por não se conhecer com detalhes o sistema desenvolvido para o projeto de Albold (2011).

A comparação entre os projetos reforça que o sistema proposto pelo presente trabalho possui dados orçamentários bem próximos dos reais e que as discordâncias entre os trabalhos podem ser atribuídas às diferenças entre as leis trabalhistas dos anos de execução dos projetos.

## Conclusões

O sistema de tratamento dimensionado para o reúso do esgoto sanitário no CEPEL, composto por tanque séptico seguido por duas *wetlands* e por lagoa de maturação, possui viabilidade técnica e econômica.

Com a utilização do sistema, anualmente seriam poupados 180,0 m<sup>3</sup> de água que poderiam ser realocados, reduzindo a pressão sobre o sistema de abastecimento público e conseqüentemente sobre os sistemas ambientais, além do tratamento do esgoto gerado e da beleza cênica proporcionado pelas *wetlands*. Portanto, o sistema não se limita apenas a ganhos econômicos, mas também a ganhos sociais e ambientais.

Com os resultados obtidos na realização deste trabalho, assim como o conhecimento adquirido no desenvolvimento do estudo, pode-se sugerir os seguintes trabalhos a serem desenvolvidos: Avaliar em outros estabelecimentos públicos a viabilidade da utilização do sistema de *wetlands* construídas (WC) para polimento das águas residuárias; avaliar a viabilidade do emprego do reúso do efluente tratado em *wetlands* construídas (WC) para estoque e destinação a lavouras; comparar o estudo econômico, financeiro e técnico das *wetlands* com outras metodologias sustentáveis utilizadas para tratamento de água residuária.

Uma das limitações encontradas foi a impossibilidade da comparação entre a eficiência dos sistemas dos projetos de Albod (2011), de Hoddinott (2006) e da CEPEL, visto que nos dois primeiros, o objetivo não era o reúso e, por essa razão, possuíam valor de enquadramento mais baixo.

## Economic feasibility for wastewater treatment system composed of wetlands for the wastewater reuse: a case study

### Abstract

Water is an asset that is becoming scarce and its reuse is an alternative to preserve it. Social and environmental feasibility motivate the adoption of reuse, but the financial factor can be limited to its use. The objective of this study was to evaluate the economic and financial feasibility for the investment in a domestic wastewater treatment system in which the constructed wetlands could be used aiming at the reuse for irrigation. Instruments such as the minimum attractiveness rate, discounted payback, the internal rate of return and the profitability index were used. The treatment system composed of an equalization tank, a septic tank, horizontal subsurface flow constructed wetland, subsurface flow constructed wetland, and a maturation pond comprising 52 m<sup>2</sup>, demonstrating that it is able to meet the criteria required for reuse. The organic load affluent to the system was projected to 220 mg L<sup>-1</sup> at a flow rate of 600 L day<sup>-1</sup> of sewage, obtaining removal efficiency above 98% for all parameters, except nitrogen and phosphorus. In the analysis of economic and financial feasibility, it was found that the internal rate of return found for the cash flow considered was 98% and the profitability index according to the present value was 3.28. It was found that the total employed would be recovered in up to two years. With the use of the system, 180 m<sup>3</sup> of water would be saved annually, reducing the pressure on the public supply system, in addition to the sewage treatment and the scenic beauty provided by wetlands. Therefore, the system is not limited only to economic gains, but also to social and environmental gains.

**Keywords:** Reutilization. Sewage. Economic viability.

## Referências

ALBOLD, A.; WENDLAND, C.; MIHAYLOYA, B.; ERGUNSEL, A.; GALT, H. **Constructed wetlands: sustainable wastewater treatment for rural and peri-urban communities in Bulgaria, case study.** Bulgaria: Women in europe for a common future, 2011. 21 p.

AQUINO, V. Reúso, solução para escassez x legislação e regulamentação deficitária. **Revista Tae**, fevereiro de 2015. Disponível em: <<http://www.revistatae.com.br/8761-noticias>> Acesso em 23. Jul. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 7229:** Construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 1993. 15 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 13696:** Tanques sépticos – unidades de tratamento complementar e disposição final de efluentes líquidos – projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997. 60 p.

ÁVILA, R. O. **Avaliação do desempenho de sistemas tanque séptico – filtro anaeróbio com diferentes tipos de meio suporte.** 2005, 166 p. Tese. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

BCB – BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Cotações e boletins.** Disponível em: <<https://www4.bcb.gov.br/pec/taxas/port/ptaxnpesq.asp?frame=1>>. Acesso em: 11 ago. 2015.

BRASIL, M. S.; MATOS, A. T.; SOARES, A. A. Plantio e desempenho fenológico da taboa (*thypha* sp.) utilizada no tratamento de esgoto doméstico em sistema alagado construído. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 12, n. 3, p. 266-272, jul/set 2007.

CEPEL, 2015. Disponível em: <http://www.cepel.br/>. Acesso em: 10 jul. 2015.

CHAGAS, R. C.; MATOS, A. T.; CECON, P. R.; LO MONACO, P. A. V.; FRANÇA, L. G. F. Cinética de remoção de matéria orgânica em sistemas alagados construídos cultivados com lírio amarelo. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**. Campina Grande, v. 15, n. 11, p. 1186–1192, 2011.

CHANG, D.; MA, Z. Wastewater reclamation and reuse in Beijing: Influence factors and policy implications. **Desalination**, 297, p. 72–78, 2012.

CHIEMCHAISRI, C; CHIEMCHAISRI, W.; JUNSOD, J.; THREEDEACH, S.; WICRANARACHCHI, P.N. Leachate treatment and greenhouse gas emission in subsurface horizontal flow constructed wetland. **Bioresource Technology**, 100, p. 3808–3814, 2009.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS - CNRH. Resolução n. 54. **Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água.** 28 de novembro de 2005.

COSTA, L. T.; SALGADO, E. G.; CARMO, D. F.; GUERRA, M.; EVANGELISTA, M.; SILVEIRA, K. (2014). Laboratório de tratamento e recuperação de resíduos químicos: alternativa para resíduos industriais do sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Desenvolvimento Regional**, v. 2, n. 2, p. 225-243, 2015.

DEMAJOROVIC, J.; CARUSO, C.; JACOBI, P. R. Cobrança do uso da água e comportamento dos usuários industriais na bacia hidrográfica do Piracicaba, Capivari e Jundiáí. **Rev. Adm. Pública**, v. 49, n. 5, p. 1193-1214, set./out. 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema de tratamento e compostagem**. Sistema de tratamento de dejetos suínos: inventário tecnológico. 2015. Disponível em: <<http://www.cnpsa.embrapa.br/invtec/35.html>>. Acesso em: 10 jul. 2015.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Manual de conservação e reúso de água em edificações**. São Paulo: Gráfica, 2005. 152 p.

HODDINOTT, B. C. **Horizontal subsurface flow constructed wetlands for on-site wastewater treatment**. Dissertação de mestrado, Wight State University, Ohio, 2006. 84 p.

JOHANSSON, A. E.; GUSTAVSSON, A. M.; QUIST, M. G. O; SVENSSON, B. H. Methane emissions from a constructed wetland treating wastewater—seasonal and spatial distribution and dependence on edaphic factors. **Water Research**. v. 38, p. 3960–3970, 2004.

JORGE, C. M. B. P. Tratamento das águas residuais dos dejetos de suínos com aguapé, um estudo de caso no campus Nilo Peçanha. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, IX, 2013, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: 2013, 15 p. Disponível em: [http://www.excelenciaemgestao.org/portals/2/documents/cneg9/anais/t13\\_2013\\_0016.pdf](http://www.excelenciaemgestao.org/portals/2/documents/cneg9/anais/t13_2013_0016.pdf) Acesso em: 5 de jul. 2015.

KAYOMBO, S. MBWETTE, T. S. A.; KATIMA, J. H. Y.; LADEGAARD, N.; JRGENSEN, S. E. **Waste stabilization ponds and constructed wetlands design manual**. University of dar es salaam, Copenhagen, Denmark, 2004, 59 p.

MARQUES, D. M. Terras úmidas construídas de fluxo Sub-superficial. In: CAMPOS, J.R. (coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Prosab, 1999. P. 409-435.

METCALF, L.; EDDY, H. P. **Wastewater Engineering Treatment Disposal Reuse**. 4. ed. New York, McGraw - Hill Book, 1815 p. 2003

PADOVEZE, C. L. **Planejamento orçamentário: texto e exercícios**. São Paulo: Pioneira/ Thomson Learning, 2005.

PLANSAB – **Plano Nacional de Saneamento Básico**. Brasília: dezembro, 2013. 173 p.

PLATZER, C.; HOFFMANN, H.; CARDIA, W. O wetland como componente de ecosan- experiências com o uso e dimensionamento no clima subtropical. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE SANITATION: FOOD AND WATER SECURITY FOR LATIN AMERICA, Fortaleza, 2007. **Proceedings...** Fortaleza: ECOSANLAC/IWA, 2007.

REED, S. C.; CRITES, R. W.; MIDDLEBROOKS, E. J. **Natural Systems for Waste Management and Treatment** – 2. ed. McGraw Hill, New York, 1995.p. 173-284.

REGO, R. B.; PAULO, G. P.; SPRITZER, I. M. P. A.; ZOTES, L. P. **Viabilidade econômico-financeira de projetos**. FGV, 4. ed. 2013. 172 p.

RIBEIRO, M. C. M. Mercado de reúso de água no Brasil: é possível assegurar um crescimento sem a definição de um arcabouço normativo e legal? **Revista Dae**, 2012, p. 4-9.

RIBEIRO, M. D.; KAWAI, H.; TINEL, P. R.; ROSSETTO, R. Experimento piloto da lagoa aguapé para tratamento de esgoto bruto. **Revista Dae**, v. 46, 1986.

RUSSI, D.; BRINK, P. T.; FARMER, A.; BADURA, T.; COATES, D.; FÖRSTER, J.; KUMAR, R.; DAVIDSON, N. **The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB) for Water and Wetlands**. 2013. 84 p.

SALLES, A. C. N. **Metodologias de análise de risco para avaliação financeira de projetos de geração ólica**. 2004, 93 p. Tese de doutorado. Programas de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

SCHROEDER, J. T.; SCHROEDER, I.; COSTA, R. P.; SHINODA, C. O custo de capital como taxa mínima de atratividade na avaliação de projetos de investimento. **Revista Gestão Industrial**. v. 1, n. 2, 2005.

TROESCH, S.; ESSER, D. Constructed wetlands for the treatment of raw wastewater: the French experience, **Sustainable Sanitation Practice**, p. 9-15, 2012.

VOLARE, 205. Disponível em: <<http://pinisistemas.pini.com.br>>. Acesso em: 15 maio 2015.

VON SPERLING, M. **Lagoas de estabilização**. 2. ed. 2. reimpressão. Belo Horizonte. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais. 196 p. 2006.

WALLACE, S. D.; KNIGHT, R. L. **Small-scale constructed wetland treatment systems: feasibility, design criteria and O&M requirements**. 2006. WERF – Water Environment Research Foundation. 304 p.

WEBER, C. C.; CYBIS, L. F.; BEAL, L. L. Conservação da água aplicada a uma indústria de papelão ondulado. **Eng Sanit Ambient**, v. 15, n. 3, 2010, p. 291-300.

**Submetido em:** 07/08/2019

**Aceito em:** 08/11/2019