

# Estimativa dos custos de operação de um biorreator a membrana

## Operating cost assessment of a membrane bioreactor

• **Data de entrada:**  
01/10/2018

• **Data de aprovação:**  
07/02/2019

Leonardo Dalri-Cecato\*/André Aguiar Battistelli/Elisangela Edila Schneider/  
Maria Eliza Nagel Hassemer/Flávio Rubens Lapolli

DOI: 10.4322/dae.2019.025

### Resumo

O presente trabalho consistiu na aplicação da metodologia de avaliação de custo de ciclo de vida para estimar os custos de operação de um biorreator a membrana hipotético projetado para ser implementado em Santa Catarina/Brasil, visando à produção de água de reúso. Foram levantados dados de custo referentes à aquisição e troca de membranas, consumo energético, disposição final de lodo e funcionários para um biorreator a membrana dimensionado para tratar  $6.060 \text{ m}^3\text{d}^{-1}$  (50.000 hab). Foram estimados valores equivalentes a R\$0,63/m<sup>3</sup> ou R\$2,10 por kg de DBO removida, os quais vão ao encontro de outros estudos realizados abordando custos de biorreatores a membrana. O sistema proposto se apresentou competitivo para produzir água de reúso, apresentando custo de tratamento (R\$/m<sup>3</sup>) inferior ao valor cobrado pela água potável.

**Palavras-chave:** Biorreator a membrana. Avaliação econômica. Custo de operação. Avaliação de custo de ciclo de vida. Reúso. Lodos Ativados. Tratamento de esgotos.

### Abstract

*The present study aimed at the application of the life cycle cost analysis methodology to estimate the operational expenditure of a hypothetical membrane bioreactor designed to be implemented in Santa Catarina/Brazil, focusing on the production of reclaimed water. Cost data regarding the acquisition and replacement of membranes, energy expenditure, sludge disposal, and employees were collected considering a membrane bioreactor projected to treat  $6,060 \text{ m}^3\text{d}^{-1}$  (50,000 people). The results found agree with other studies addressing membrane bioreactor costs, being equal to R\$0.63/m<sup>3</sup> or R\$2.10 per removed kg of BOD. In addition, it was verified that the proposed system is competitive to produce reclaimed water since its treatment cost (R\$/m<sup>3</sup>) is below the amount charged for the drinking water in the region.*

**Keywords:** Membrane Bioreactor. Economical Evaluation. Operational Expenditure. Life Cycle Cost Analysis. Reuse. Activated Sludge. Wastewater Treatment.

**Leonardo Dalri-Cecato** – Graduado em Engenharia Sanitária e Ambiental. Mestre em Engenharia Ambiental.

**André Aguiar Battistelli** – Graduado em Engenharia Ambiental. Doutor em Engenharia Ambiental.

**Elisangela Edila Schneider** – Graduada em Engenharia Química. Mestre em Engenharia Química. Doutora em Engenharia Química.

**Maria Eliza Nagel Hassemer** – Doutora em Engenharia Sanitária. Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina.

**Flávio Rubens Lapolli** – Doutor em Hidráulica e Saneamento. Professor Titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina.

\***Endereço para correspondência:** Campus Universitário UFSC - Trindade - Dep. Engenharia Sanitária e Ambiental – Laboratório de Reúso de Águas (LaRA) - 3º andar - Florianópolis/SC. CEP: 88040-490. Telefone: (48) 3721-7750. E-mail: leonardo.dalri@gmail.com.

## 1 INTRODUÇÃO

A tecnologia de biorreatores a membrana (BRM) é dada pela combinação do processo clássico de tratamento de efluentes, via lodos ativados convencional, com o processo físico de separação por membranas (JUDD; JUDD, 2011). A utilização dos BRM traz vantagens relacionadas à alta qualidade do efluente gerado e à consequente oportunidade de realizar reúso da água, bem como a possibilidade de operação com elevado teor de sólidos em suspensão e maiores idades de lodo, resultando na redução da produção de lodo de descarte e da área construída requerida (KOOTENAEI; AMINIRAD, 2014; LE-CLECH, 2010; METCALF; EDDY, 2003).

Entretanto, apesar das vantagens reportadas, Judd (2017) aponta que a principal discussão levantada quanto à aplicação dos BRM no tratamento de efluentes está relacionada não à sua eficiência, mas sim aos custos nela envolvidos. O autor também comenta que, dentre as diversas maneiras de se levantar e categorizar os custos atrelados a um empreendimento, a separação entre os valores de implantação (CAPEX) e operação (OPEX) costuma ser utilizada. Tais informações são comumente confrontadas com dados econômicos da tecnologia de lodos ativados (IGLESIAS et al., 2017; JUDD, 2017; YOUNG et al., 2012), que caracterizam o processo de tratamento biológico de efluentes mais empregado no mundo, consistindo na utilização de micro-organismos aeróbios na depuração da matéria orgânica e de outros componentes presentes nas águas residuárias, apresentando ampla utilização em nível mundial por possuir boa eficiência, maior flexibilidade de operação e menor requisito de área para implantação, quando comparado com as lagoas de estabilização (VON SPERLING, 2002).

Nesse viés, uma das ferramentas aplicáveis para auxiliar na contabilização dos custos de tecnologias de cunho ambiental é a Análise de Custo de Ciclo de Vida (ACCV), que é utilizada para avaliar os dispêndios importantes ao longo do tempo de

vida de um projeto ou produto, incluindo os custos de operação (KUBBA, 2010). Rebitzer, Hunkeler e Jolliep (2003) destacam que a sustentabilidade só pode ser atingida se as soluções propostas e as implementações ambientais e sociais forem economicamente viáveis, e apontam a ACCV como uma ferramenta importante para introduzir a visão econômica na tomada de decisão acerca de projetos de interesse ambiental, como, por exemplo, na escolha de qual tipo de tratamento aplicar em uma Estação de Tratamento de Esgotos (ETE). Em vista disso, é possível citar os estudos de Dhillon (2010), que aplica a ACCV para uma estação de tratamento de resíduos, além de Koul e John (2015) e Bhoje, Saner e Aher (2016), que abordam aplicações em estações de tratamento de esgotos.

O número de pesquisas científicas relacionadas ao levantamento de custos de BRM vai ao encontro da carência de dados econômicos ao seu respeito. Judd (2017) realizou um estudo bibliométrico acerca dos principais temas abordados em pesquisas relacionadas aos BRM e identificou que apenas 0,5% dos trabalhos publicados entre 2001 e 2016 abordou temáticas mercadológicas e de custos. Além disso, as informações existentes sobre custos de biorreatores a membrana são reportadas de forma inconsistente, desuniforme e sem periodicidade (JUDD, 2017; PIRANI et al., 2012). Dessa forma, entende-se que a falta de credibilidade e disponibilidade desse tipo de dado é prejudicial para atestar a viabilidade econômica dessa tecnologia (VERRECHT et al., 2010).

Tendo isso em vista, é necessário expandir o conhecimento acerca dos BRM, unindo estudos referentes à sua eficiência e operação com pesquisas que considerem o OPEX da tecnologia, uma vez que os dispêndios relativos à posse de um ativo podem superar de 10 a 100 vezes os custos da sua aquisição (DHILLON, 2010). No cenário brasileiro, pesquisas desse cunho são escassas, e uma maior ênfase nessa área do conhecimento auxiliaria, por exemplo, na tomada de decisão acerca do tipo de

tratamento de esgoto aplicado em determinada situação, bem como no aumento de estações produtoras de água de reúso (EPAR), que se apresentam como uma alternativa interessante frente às crises hídricas atuais.

Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho consistiu na aplicação da metodologia ACCV para auxiliar no levantamento e discussão de dados de OPEX de um BRM hipotético projetado para ser implementado em Santa Catarina/Brasil, visando à produção de água de reúso.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 Biorreator a membrana avaliado

A simulação de custos foi realizada sobre um BRM hipotético aeróbio projetado para operar em regime de fluxo contínuo, localizado no estado de Santa Catarina/Brasil, atendendo uma população de 50.000 pessoas. Escolheu-se trabalhar com módulos de membranas submersos em tanque de filtração separado do sistema biológico. Segundo Metcalf e Eddy (2014), essa prática tem sido mais utilizada, uma vez que o volume do tanque de filtração é bastante reduzido, permitindo atingir turbulências superiores no meio líquido com uma mesma taxa de aeração, propiciando um melhor controle da colmatação e maior eficiência energética. Foi considerada também a implantação de uma etapa de pré-desnitrificação no projeto, com o intuito de promover a redução da concentração de nitrogênio total no efluente final da ETE e evitar a multiplicação de algas e macrófitas aquáticas, as quais podem levar à incrustações, colmatação do solo e outros impactos no local de despejo ou reúso do efluente produzido (MARECOS; ALBUQUERQUE, 2010; VON SPERLING, 2005).

Além disso, optou-se pela implantação de um tanque de equalização no sistema, uma vez que vazões de pico elevadas afetam diretamente o projeto e os custos da ETE, tendo em vista que

para suprir grandes variações de vazão é necessário instalar mais módulos de membranas e demais equipamentos, levando a maiores custos de implantação e operação (METCALF; EDDY, 2014). Nesse contexto, Judd e Judd (2011) indicam uma redução de 21% no custo geral do sistema com a utilização de tanque de equalização, devido à redução de 20% no custo de operação e aumento de 22% na utilização média da estação.

### 2.2 Análise de custo de Ciclo de Vida para o BRM proposto

A metodologia ACCV foi utilizada para basear o levantamento do OPEX do BRM proposto, tendo em vista que essa é uma ferramenta importante para introduzir a visão econômica na tomada de decisão acerca de projetos de cunho ambiental, podendo ser aplicada para estações de tratamento de esgoto (REBITZER; HUNKELER; JOLLIEP, 2003).

Uma vez que a análise de custos é específica para cada situação e pode variar conforme o local do empreendimento, variações cambiais, momento econômico, dentre outros fatores, os modelos e considerações feitas por Dhillon (2010), Koul e John (2015), e Bhoje, Saner e Aher (2016) foram adaptados para contemplar a situação em questão.

#### 2.2.1 Cálculo do OPEX

Foram considerados os principais contribuintes para o custo de operação de biorreatores a membrana no cálculo do OPEX do BRM proposto, caracterizados pelo consumo energético e reposição periódica de membranas (IGLESIAS et al., 2017; JUDD, 2017; YOUNG et al., 2013), além da folha de pagamento de funcionários (YOUNG et al., 2012, 2013).

Os dispêndios com o gerenciamento do lodo de descarte também foram considerados. Lo, McAdam e Judd (2015) comentam que, apesar de alguns estudos negligenciarem esse tipo de gasto, pesqui-

sas indicam que tal parâmetro representa 21% do OPEX de estações em escala real analisadas.

Os parâmetros considerados no cálculo do OPEX são apresentados na Equação 1. Os dados foram compilados de forma a representar o custo anual de operação.

$$OPEX = E + TM + F + DL \quad \text{Equação 1}$$

Em que,

$E$  é o custo relativo ao consumo energético;

$TM$  é o custo relativo à troca periódica de membranas;

$F$  é o custo relativo à folha de pagamento de funcionários;

$DL$  é o custo relativo à disposição final de lodo.

### 2.2.1.1 Custo relativo ao consumo energético

Estudos relativos às melhorias na operação e aumento da eficiência energética dos BRM estão dentre os temas mais abordados na literatura atual (JUDD, 2017). Nesse contexto, utilizaram-se dados de consumo energético de estações com biorreatores a membrana, tendo em vista o consumo de energia elétrica por volume de permeado produzido (kWh/m<sup>3</sup>).

Esses dados foram considerados juntamente com a vazão média anual do BRM proposto, unidos com a tarifa de energia elétrica para o estado de Santa Catarina, fornecida pela empresa Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A. (CELESC), representando assim o custo relativo ao consumo energético da ETE. Além disso, é necessário considerar a incidência da alíquota de ICMS sobre operações envolvendo energia elétrica no estado de Santa Catarina. A Equação 2 apresenta o cálculo do custo energético anual da estação.

$$E = Q_{med} \times CE \times TE + ICMS(Q_{med} \times CE \times TE)$$

Equação 2

Em que,

$E$  é o custo relativo ao consumo energético;

$Q_{med}$  é a vazão média da ETE (m<sup>3</sup>);

$CE$  é o consumo energético (kWh/m<sup>3</sup>);

$TE$  é a tarifa de energia elétrica em Santa Catarina (R\$/kWh);

$ICMS$  é a alíquota relativa a operações com energia elétrica em Santa Catarina (%).

### 2.2.1.2 Custo relativo à troca periódica de membranas

A troca periódica de membranas foi considerada na estimativa dos custos de operação do BRM proposto, uma vez que a deposição lenta de colmatação irreversível na superfície da membrana, operação com pressões transmembrana próximas ao máximo permitido e o próprio envelhecimento natural do material contribuem para a necessidade de reposição de membranas (COTE; ALAM; PENNY, 2012).

É possível obter dados de custo de membranas na literatura. Contudo, esse é um parâmetro que sofre variação conforme o fabricante, concorrência entre empresas, dentre outras questões mercadológicas. Tendo isso em vista, realizou-se o contato direto com o fornecedor para levantar o custo envolvido na compra dos módulos e cassetes de membrana. Além disso, foi considerado um custo de instalação das membranas igual a 10% do seu valor de compra (YOUNG et al., 2013).

Os impostos envolvidos nessa transação também foram somados aos custos de aquisição das membranas. Atualmente, há quatro impostos incidentes sobre os produtos importados no Brasil: imposto de importação (II), imposto sobre produtos industrializados (IPI), programa de integração social (PIS) e contribuição para fins sociais (Cofins).

As membranas filtrantes (exceto aquelas aplicadas à osmose inversa) se enquadram na Nomenclatura Comum do Mercosul (NCM) número

84219999. Considerando essa NCM, utilizou-se o Simulador do Tratamento Tributário e Administrativo das Importações disponibilizado pela Receita Federal brasileira (BRASIL, 2018b), que apresenta as alíquotas e tributos referentes aos impostos supracitados para diferentes produtos. Além disso, considerou-se o imposto sobre circulação de mercadorias e serviços (ICMS) para o estado em questão (SANTA CATARINA, 1996).

A soma do valor de compra das membranas, instalação e impostos aplicados resultou no valor final relativo à aquisição das membranas filtrantes para o BRM proposto. A periodicidade de troca da membrana escolhida foi considerada segundo indicações da literatura específicas para o módulo de membranas escolhido (COTE; ALAM; PENNY, 2012). Por fim, o valor atribuído a essa prática foi diluído ao longo de um período igual a 20 anos.

### 2.2.1.3 Custo relativo à folha de pagamento de funcionários

A escolha do número de operadores necessários para a ETE proposta seguiu as indicações de Young et al. (2012). Uma vez levantado o número de operadores necessários, realizou-se uma pesquisa de salários atribuídos a esses profissionais.

Foram levantados dados salariais contidos em editais de concursos de companhias de saneamento atuantes em Santa Catarina. Por fim, o custo relativo à folha de pagamento de funcionários foi calculado pela multiplicação do número de operadores da ETE pela média aritmética dos salários pesquisados unidos aos encargos pagos pelo empregador sobre o salário bruto.

### 2.2.1.4 Custo relativo à disposição final de lodo

O custo da disposição final de lodo não pode ser negligenciado ao levantarem-se os custos de operação de uma estação de tratamento de esgotos. Tendo em vista a importância da contabiliza-

ção desse parâmetro e a grande variabilidade de valores cobrados para realizar esse serviço, foram compilados dados de transporte e destinação final em aterro sanitário de 10 estações de tratamento de esgoto dispostas em localidades distintas de Santa Catarina e com diferentes produções de lodo. Esses dados foram coletados em contratos referentes à licitações realizadas pela Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN). Uma vez que a quantidade de lodo gerado interfere nas negociações do custo unitário entre empresas, foi adotado o valor da média ponderada entre o custo unitário (R\$/ton) aplicado para cada ETE e a sua produção de lodo (ton) no cálculo do custo da disposição final de lodo do BRM proposto. Por fim, o volume de lodo desaguado produzido na ETE estudada foi multiplicado pelo valor médio unitário de gerenciamento de lodo obtido através da pesquisa realizada.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Módulo de membranas escolhido

O módulo de membranas escolhido para compor o BRM proposto foi o Zeeweed 500D-370, da empresa Suez Water Technologies & Solutions, de conformidade fibra oca, com fluxo de fora para dentro, indicado especificamente para o uso em BRM. Essa decisão baseou-se na facilidade de contato e troca de informações com a empresa, bem como no seu respaldo, tanto frente ao mercado como dentre a comunidade acadêmica.

Segundo Cote, Alam e Penny (2012), membranas do tipo fibra oca são aplicáveis para todas as faixas de vazões, e estima-se que 75% da capacidade total instalada de BRM empregam esse tipo de membrana. Os autores avaliaram a evolução da tecnologia Zeeweed, aplicada também no BRM objeto deste estudo, realizando a primeira análise de previsão de tempo de vida útil de membranas filtrantes com base em uma série de dados históricos disponibilizada por um fornecedor.

As principais características do módulo de membranas escolhido são apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1** – Características do módulo de membranas Zeeweed 500D-370.

Parâmetro	Valor
Material	PVDF
Tamanho nominal de poro ( $\mu\text{m}$ )	0,04
Comprimento (m)	0,049
Altura (m)	2,198
Largura (m)	0,844
Volume ( $\text{m}^3$ )	0,091
Área filtrante ( $\text{m}^2$ )	34,4

Fonte: SUEZ (2016).

Tendo em vista a organização dos módulos dentro do tanque de filtração, foi prevista a aplicação do Cassete 48M, da mesma empresa, no qual é possível alocar até 48 módulos de membranas. Além disso, os componentes necessários para realizar a distribuição da aeração da membrana já constam no cassete. As informações do Cassete 48M estão apresentadas na Tabela 2.

**Tabela 2** – Características do cassete 48M.

Parâmetro	Valor
Comprimento (m)	2,116
Altura (m)	2,561
Largura (m)	1,745
Volume ( $\text{m}^3$ )	9,456

Fonte: SUEZ (2017).

Segundo Cote, Alam e Penny (2012), o lançamento do módulo ZW500D em 2003 é resultado de melhorias contínuas sobre a tecnologia durante um período superior a 15 anos, as quais levaram a um aumento da capacidade de filtração de 68 para 1055  $\text{m}^3/\text{d}$  por cassete, redução em 10 vezes na necessidade de aeração e mais de 6 vezes no custo das membranas, devido ao aumento do fluxo aplicado e diminuição do custo do metro quadrado de membrana. Os autores ainda apontam para a maior densidade de módulos por área ocupada, e, por consequência, maiores taxas de filtração

no tanque de membranas, as quais evoluíram de 1,9 para 8,0  $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{h}^{-1}$ , sendo consideravelmente superiores às dos decantadores secundários, que giram em torno de 1  $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{h}^{-1}$ .

### 3.2 Biorreator a membrana avaliado

Os principais parâmetros de projeto utilizados para dimensionar o BRM avaliado são apresentados na Tabela 3. O consumo per capita de água foi adotado segundo o Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), que indica o consumo de água para o estado de Santa Catarina (BRASIL, 2018a). As características do esgoto afluente foram adotadas segundo Von Sperling (2007a), que apresenta valores típicos para o esgoto bruto em países em desenvolvimento.

**Tabela 3** – Parâmetros de projeto do BRM proposto.

Dados de entrada	Valor
População contribuinte (P)	50.000 hab
Consumo <i>per capita</i> de água (QPC)	150 L/hab.d
Coefficiente de retorno esgoto/água (CR)	0,8
Vazão média	6.060 $\text{m}^3/\text{d}^{-1}$
Vazão de infiltração (Q <sub>inf</sub> )	1% Q <sub>med</sub>
Concentração média de DBO <sub>5</sub> afluente ao tanque biológico	300 mg/L
Concentração média de DQO afluente ao tanque biológico	600 mg/L
Concentração média de NTK afluente ao tanque biológico	45 mg/L
Carga de DBO afluente	1.818 kg/d
Idade de lodo ( $\theta_c$ )	40 d
Concentração de SSV no tanque biológico (X <sub>v</sub> )	10 g/L

Segundo Meng et al. (2009), estudos indicam que a idade de lodo ( $\theta_c$ ) de um BRM deve estar compreendida entre 20 e 50 dias, para conferir um melhor controle da colmatação da membrana, com a respectiva relação alimento microrganismo (A/M) referente ao  $\theta_c$  escolhido. Nesse viés, com objetivo de proporcionar maiores eficiências de tratamento e menores volumes de lodo de descarte, adotou-se  $\theta_c$  de 40 dias para o BRM proposto,



com relação alimento/microrganismo estimada em 0,12 kg DBO/kg SSV.d (VON SPERLING, 2007b).

A adoção da concentração de sólidos suspensos voláteis no tanque biológico igual a 10g/L seguiu as recomendações de Metcalf e Eddy (2014). Segundo os autores, apesar de um BRM poder operar com altas concentrações de SSV no tanque biológico (15 – 25 g/L), concentrações entre 8 – 12 g/L se apresentam mais favoráveis em termos de custo benefício.

Para adequar e otimizar a operação da ETE estudada, considerou-se o volume do tanque de equalização igual a 62% do volume do tanque biológico, indo ao encontro do apresentado por Metcalf e Eddy (2003).

Adotou-se a concentração máxima de 10 mg/L de nitrogênio total no efluente final da ETE (BASTIAN; MURRAY, 2012). Tendo isso em vista, a etapa de pré-desnitrificação foi dimensionada para atingir eficiência de 80%, considerando um tempo de detenção hidráulica de 1,5 hora e taxa de recirculação interna igual a 400%, conforme indicado por Von Sperling (2007b). Cabe ressaltar que separação física oferecida pelas membranas oferece pouca vantagem em termos de remoção de fósforo (JUDD; JUDD, 2011). Contudo, os autores indicam a possibilidade de introduzir uma etapa anaeróbia no sistema, favorecendo a remoção biológica de fósforo, ou prever a aplicação de processos de coagulação, permitindo alcançar concentrações inferiores a 0,1 mg/L, caso sejam impostos limites restritivos relativos à concentração desse nutriente na água de reúso.

Por fim, é enfatizado que os critérios de projetos adotados podem variar conforme a necessidade de adequação às legislações, local do empreendimento, características do esgoto bruto, entre outros fatores, existindo diversos estudos acerca das diferentes conformidades envolvendo o tratamento de esgotos com BRM e a sua respectiva eficiência em termos de remoção de carga orgânica e nutrientes (BATTISTELLI, 2018; COSTA, 2018; BELLI,

2016). Ademais, a possibilidade de realizar o reúso de águas foi considerada em vista das indicações quanto ao potencial dos BRM em produzir efluentes de alta qualidade, permitindo tal prática (KOOTENAEI; AMINIRAD, 2014; LE-CLECH, 2010).

As principais unidades de tratamento e as suas respectivas dimensões são apresentadas na Tabela 4.

**Tabela 4** – Unidades de tratamento e as suas dimensões.

Unidade de tratamento	Volume útil (m <sup>3</sup> )	Altura (m)	Área superficial (m <sup>2</sup> )
Tanque biológico	1.530	4,5	340
Tanque de equalização	945	4,5	210
Tanque anóxico	387	4,5	86
Tanque de membranas	189	3,0	63

Segundo Metcalf e Eddy (2014), o fluxo escolhido pode variar entre 20 – 30 L/m<sup>2</sup>h<sup>-1</sup> para temperaturas entre 15 – 20°C, considerando concentrações intermediárias de sólidos suspensos voláteis no reator. Nesse contexto, o fluxo crítico adotado foi igual a 25 L/m<sup>2</sup>h<sup>-1</sup>. Além disso, considerou-se um tempo de operação e relaxamento on/off equivalente a 9 minutos de operação e 1 minuto de relaxamento, indo ao encontro de parâmetros operacionais utilizados por diferentes fornecedores de membranas e BRM em escala real apresentados por Iglesias et al. (2017) e Metcalf e Eddy (2014), resultando em um fluxo de operação de aproximadamente 21 L/m<sup>2</sup>h<sup>-1</sup>.

Tendo em vista os parâmetros adotados e as características do módulo de membranas escolhido, estimou-se um número de módulos necessários igual a 352. Contudo, considerando um fator de segurança de aproximadamente 7%, adotou-se 375 módulos, equivalendo a 7 cassetes 48M completos somados a 1 cassete contendo 39 módulos. Além disso, foi prevista a introdução de um cassete vazio no sistema, totalizando 15% de espaço livre, reservado para suprir a necessidade de introdução de mais módulos no sistema caso seja necessário trabalhar com fluxos mais baixos.

Por fim, o cálculo das dimensões do tanque de filtração foi realizado de modo a proporcionar alto nível de compactidade para o sistema, considerando as dimensões dos cassetes e o espaçamento entre eles. As principais informações acerca das dimensões e operação do tanque de filtração estão apresentadas na Tabela 5.

**Tabela 5** – Dimensões e operação do tanque de filtração.

Parâmetro	Valor
Número de módulos	375
Número de cassetes	8+1
Operação / Relaxamento (min/min)	9/1
Fluxo crítico (L/m <sup>2</sup> h <sup>-1</sup> )	25
Fluxo de operação (L/m <sup>2</sup> h <sup>-1</sup> )	21
Volume (m <sup>3</sup> )	189
Área superficial (m <sup>2</sup> )	63
Largura (m)	3
Comprimento (m)	21
Profundidade (m)	3

### 3.3 Levantamento dos custos do BRM avaliado: OPEX

#### 3.3.1 Consumo energético

Estudos indicam que para sistemas otimizados o consumo energético de um BRM pode alcançar valores entre 0,4 – 0,6 kWh/m<sup>3</sup>, com perspectivas de redução desse consumo devido a novas pesquisas que vêm sendo realizadas (IGLESIAS et al., 2017; ITOKAWA et al., 2014; JUDD, 2017; KRZEMINSKI et al., 2017; XIAO et al., 2014). Nesse contexto, adotou-se um consumo energético geral para o BRM proposto igual a 0,5 kWh/m<sup>3</sup>.

A determinação do custo do kWh adotado levou em consideração os valores cobrados pela CELESC para empreendimentos relacionados ao saneamento. Tendo isso em vista, foi considerada a tarifa horária azul de ponta do Grupo A, Subgrupo A4 – Água, Esgoto e Saneamento, caracterizando o cenário mais desfavorável para esse tipo de consumidor, equivalente a R\$ 0,4593485/kWh, bem

como a incidência da alíquota de 25% referente ao ICMS (CELESC, 2018).

Por fim, aplicando a Equação 2 foi possível estimar um custo anual de energia elétrica igual a R\$ 635.020,59 ou R\$ 0,29/m<sup>3</sup>. Contudo, cabe ressaltar que as tarifas cobradas por companhias de energia são variáveis conforme a disponibilidade e demanda, e por esse motivo custos de energia elétrica mais vantajosos podem ser alcançados.

#### 3.3.2 Troca periódica de membranas

Tendo em vista o módulo de membranas escolhido, realizou-se o contato com o respectivo fornecedor para agregar dados de custo da tecnologia. Dessa forma, foi possível obter informações a respeito do valor de mercado do metro quadrado de área filtrante do módulo em questão (\$/ft<sup>2</sup> ou \$75,35/m<sup>2</sup>), bem como a proporção de custo entre a compra dos módulos e dos cassetes das membranas (70% e 30%, respectivamente), considerando um módulo 48M totalmente preenchido.

Os dados de custo por metro quadrado de área filtrante, proporções de valores entre módulos e cassetes, bem como as demais informações acerca da compra de membranas necessárias para o BRM proposto são apresentados na Tabela 6.

**Tabela 6** – Custos referentes à compra de membranas.

Parâmetro	Valor
Custo ZW 500D	\$ 75,35/m <sup>2</sup> <sup>1</sup>
Proporção custo membranas/total	70% <sup>1</sup>
Proporção custo cassetes/total	30% <sup>1</sup>
Número de módulos BRM	375
Área filtrante total do BRM	12.900 m <sup>2</sup>
Valor aduaneiro membranas	\$ 971.980,17
Valor aduaneiro cassetes	\$ 469.882,99
Taxa de câmbio	4,0687 <sup>2</sup>
Valor aduaneiro convertido membranas	R\$ 3.954.695,72
Valor aduaneiro convertido cassetes	R\$ 1.911.812,90
Valor aduaneiro convertido total	R\$ 5.866.508,62

Fonte: <sup>1</sup> Contato com fornecedor.

<sup>2</sup> Fechamento PTAX de venda USD para BRL referente a 27/08/2018 (BCB, 2018).



Uma vez que este é um produto importado, é necessário considerar os impostos incidentes para a NCM 84219999, com destino final da compra localizado no estado de Santa Catarina. Os impostos, suas respectivas alíquotas e os tributos relativos à aquisição das membranas do BRM proposto são apresentados na Tabela 7. Cabe ressaltar que as alíquotas relativas ao II, PIS e COFINS incidem apenas sobre o valor aduaneiro, enquanto o IPI incide sobre o valor aduaneiro somado ao tributo referente ao II (BRASIL, 2018b). Já o ICMS tem sua base de cálculo diferenciada, que considera a soma do valor aduaneiro, II, IPI, PIS, COFINS e a alíquota estadual do ICMS (SANTA CATARINA, 1996).

**Tabela 7** – Impostos incidentes na compra de membranas.

Imposto	Alíquota (%)	Tributo (R\$)
II	14	821.311,21
IPI	8	535.025,59
PIS	2	123.196,68
COFINS	10,65	624.783,17
ICMS SC	17	1.632.578,67
<b>Total impostos</b>		<b>3.736.895,31</b>

Fontes : Brasil (2018b) e Santa Catarina (1996).

Além disso, foi adotado um valor equivalente a 10% do valor aduaneiro convertido total como custo de instalação das membranas, conforme indicado por Young et al. (2013), totalizando R\$586.650,86.

Ao analisar a base de dados disponibilizada pelo fornecedor do módulo de membranas escolhido para o BRM proposto, Cote, Alam e Penny (2012) estudaram o tempo de vida útil dos módulos de membrana das gerações anteriores e atual da tecnologia ZeeWeed e indicaram que é possível afirmar com segurança que os módulos ZW500D devem operar 10 anos ou mais antes de ser necessário trocá-los.

Tendo isso em vista, foi considerada uma reposição total das membranas após 10 anos de ope-

ração, de custo idêntico ao estipulado para a compra e instalação dos módulos de membranas considerados no presente projeto. Cabe ressaltar que esse é um gasto de operação pontual, mas para título de comparação foi diluído ao longo do tempo de vida da estação, adotado em 20 anos, resultando em um custo anual de R\$ 392.317,11 ou R\$ 0,18/m<sup>3</sup>.

### 3.3.3 Folha de pagamento de funcionários

Os resultados da pesquisa salarial realizada para estimar o custo com funcionários, caracterizado pelo pagamento dos operadores da ETE, estão apresentados na Tabela 8. Os concursos pesquisados são referentes ao ano de 2018. Além do honorário, foram considerados 70% de encargos sobre o salário bruto, os quais são pagos pelo empregador.

**Tabela 8** – Salários de operador de ETE em SC.

Empresa	Valores (R\$)	Referências
SAMAE Orleans	2.979,07	SAMAE ORLEANS (2018)
VISAN Videira	2.306,55	VISAN (2018)
SAMAE Blumenau	1.180,32	SAMAE BLUMENAU (2018)
SAMAE São Bento do Sul	2.912,58	SAMAE SÃO BENTO DO SUL (2018)
SAMAE Urussanga	2.822,83	SAMAE URUSSANGA (2018)
<b>Resultados</b>		
Média Salário Bruto	2.440,27	
Encargos	1.708,59	
Total mensal por funcionário	4.148,46	
Total anual 4 funcionários	199.126,03	

Adotaram-se 4 operadores para a ETE proposta, uma vez que o alto grau de automatização de um BRM permite considerar essa quantia, enquanto para uma ETE com lodos ativados convencional e com filtração terciária o número usual de operadores é 5 e 6, respectivamente (YOUNG et al., 2012). Nesse contexto, o custo anual estimado com funcionários foi igual a R\$ 199.126,03 ou R\$ 0,09/m<sup>3</sup>.

### 3.3.4 Disposição final de lodo

Os dados de custo unitário de manejo de lodo, número de toneladas anuais geradas e o custo total anual de disposição final de lodo de 10 estações de tratamento de esgotos operadas pela Companhia Catarinense de Águas e Saneamento estão dispostos na Tabela 9.

**Tabela 9** – Custo de disposição final de lodo de ETE em SC.

Estação de tratamento de esgotos	Custo unitário (R\$/ton)	Toneladas (ton/ano)	Custo anual (R\$)
Insular	218,64 <sup>1</sup>	10.020	2.190.772,80
Canasvieiras		3.854	842.638,56
Lagoa da Conceição		360	78.710,40
Araquari Centro	281,00	158	44.398,00
Canoinhas	329,00	150	49.350,00
Indaial	267,00	100	26.700,00
Braço do Norte	298,00	180	53.640,00
Criciúma	247,00	2.700	666.900,00
Laguna	350,00	220	77.000,00
Chapecó	340,00	840	285.600,00
<b>Média ponderada</b>	<b>232,25</b>		

Fonte: CASAN (2018).

<sup>1</sup> Não considera o custo de transporte.

Tendo em vista a idade de lodo adotada (40 dias), estimou-se um descarte de lodo de aproximadamente 43 m<sup>3</sup>/d ou 430 kgSST/d. Considerando desaguamento por centrifugação, com 95% de captura de sólidos e 20% de concentração de sólidos no lodo de descarte final (ANDREOLI et al., 2007), foi estipulada uma produção de lodo de aproximadamente 727 ton/ano, equivalente a R\$ 168.847,33/ano ou R\$ 0,08/m<sup>3</sup>.

### 3.4 Resumo do OPEX do BRM proposto

O resumo dos custos relativos ao OPEX do BRM proposto estão apresentados na Tabela 10.

**Tabela 10** – Resumo do OPEX do BRM proposto

Parâmetros	Custo Absoluto (R\$/ano)	Custo Relativo (R\$/m <sup>3</sup> )
<b>OPEX</b>		
Energia	635.020,59	0,29
Troca periódica de membranas	392.317,11	0,18
Funcionários	199.126,03	0,09
Disposição final de Lodo	168.847,33	0,08
<b>Total OPEX</b>	<b>1.395.371,64</b>	<b>0,63</b>

Fonte: Os Autores (2018).

O OPEX estimado em R\$ 0,63/m<sup>3</sup> ou R\$ 2,10 por kg de DBO removida vai ao encontro dos estudos realizados por Iglesias et al. (2017). Segundo os autores, o OPEX de estações com capacidade entre 5.000 – 10.000 m<sup>3</sup>d<sup>-1</sup> operando com lodos ativados com aeração prolongada; lodos ativados com posterior coagulação, filtros de areia e desinfecção; lodos ativados seguido de filtração com membranas; e BRM equivalem a 0,22; 0,31; 0,40 e 0,32 €/m<sup>3</sup>, respectivamente, estando inclusos os dispendios com a disposição final de lodo. Os autores também indicam valores entre 0,5 – 18 €/kgDBO ao avaliar o OPEX dos BRM estudados.

O consumo energético da ETE avaliada neste trabalho representou 46% dos custos de operação, enquanto demais estudos indicam contribuições em torno de 27 – 34% (LO; MCADAM; JUDD, 2015), 41% (IGLESIAS et al., 2017) e 79,6% (VERRECHT et al., 2010). Já a troca periódica de membranas foi ao encontro dos estudos de Lo, McAdam e Judd (2015), igualando em 28% de contribuição.

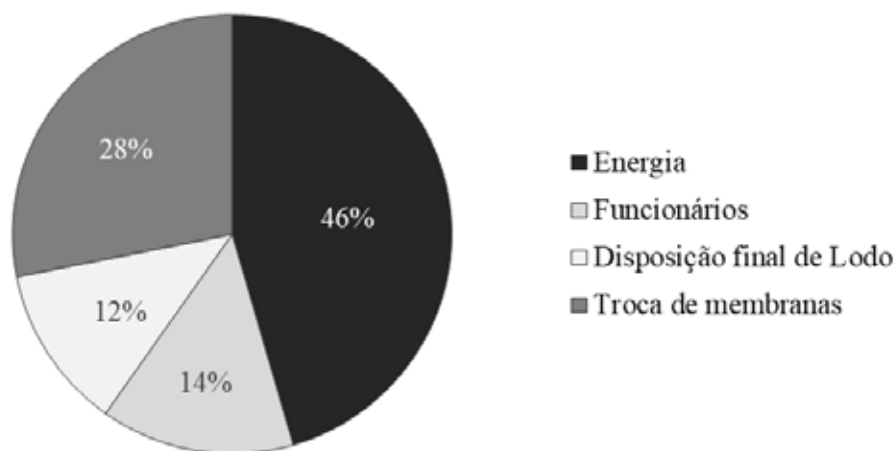
A comparação das contribuições relativas à folha de pagamento de funcionários é uma tarefa complexa, uma vez que esse parâmetro é extremamente variável conforme o local do empreendimento. O pagamento dos operadores do BRM proposto representou 14% do OPEX, similar ao estimado

por Young et al. (2013) (15%). Lo, McAdam e Judd (2015) indicam porcentagens de participação iguais a 14; 5,6 e 2,8% para estações de diferentes capacidades. Brepols, Shäfer e Engelhardt (2010), 24%, considerando um BRM com capacidade para atender 10.000 pessoas. Já Verrecht et al. (2012) atribuiu 51% de participação relativa a funcionários após analisar um BRM de pequena escala produzindo 25 m<sup>3</sup>d<sup>-1</sup> de água de reúso para uma comunidade no Reino Unido, concluindo que em estações com maiores capacidades os dispêndios com energia superam os custos com honorários.

Por fim, a disposição final de lodo representou 12% do OPEX, situando-se abaixo dos dados apresentados por Iglesias et al. (2017) (16%), Verrecht et al. (2010) (17,9%) e Brepols, Shäfer e Engelhardt (2010) (21%). Cabe ressaltar que a avaliação de custo realizada abrangeu a forma clássica de disposição final de lodo (aterro sanitário). Contudo, opções alternativas para dispor este resíduo podem ser consideradas, como o uso na agricultura, compostagem ou biodigestão anaeróbia.

A distribuição das contribuições de cada parâmetro de OPEX avaliado está representada na Figura 1.

**Figura 1** – Contribuições individuais dos custos do OPEX do sistema BRM.



Fonte: Os Autores (2018).

O custo de OPEX de R\$ 0,63 por m<sup>3</sup> de efluente tratado se encontra consideravelmente abaixo das tarifas de água potável aplicadas em Santa Catarina, onde para os usos acima de 10 m<sup>3</sup>/mês, nas categorias industrial, pública, e micro e pequenos comércio, paga-se R\$ 10,7866/m<sup>3</sup> (CASAN, 2018). Isso vai ao encontro dos estudos de Young et al. (2013), os quais indicam a competitividade dos BRM frente à tecnologia de lodos ativados para situações nas quais é necessário atingir altas remoções de nutrientes ou deseja-se fazer reúso.

É importante ressaltar que os custos de transporte e cloração da água de reúso devem ser considera-

dos quando se realiza tal prática, o que aumentaria o OPEX. Contudo, o transporte da água de reúso até o local desejado incrementa em torno de 0,02 – 0,04 €/m<sup>3</sup> no OPEX (IGLESIAS et al., 2017), e a sua desinfecção com cloro representa menos de 3% dos custos de operação (VERRECHT et al., 2012). Portanto, a aplicação de BRM na produção de água de reúso em Santa Catarina é uma escolha interessante, tanto do ponto de vista econômico como do ambiental, uma vez que o estado possui polos industriais distribuídos em diferentes regiões, bem como demandas públicas e comerciais de água.

## 4 CONCLUSÕES

O levantamento dos custos de operação realizado para o BRM proposto apresentou valores equivalentes a R\$ 0,63/m<sup>3</sup> ou R\$ 2,10 por kg de DBO removida, que vão ao encontro de outros estudos realizados abordando os custos da mesma tecnologia. A maior contribuição individual para o OPEX do sistema caracterizou-se pelo consumo energético (46%), seguido pela troca periódica de membranas (28%), pagamento de funcionários (14%) e disposição final de lodo (12%). Por fim, foi verificado que o sistema proposto é competitivo, tendo em vista a produção de água de reúso, uma vez que o seu OPEX é consideravelmente inferior ao valor cobrado pela água potável na região em questão.

## 5 REFERÊNCIAS

- ANDREOLI, C. V. et al. **Sludge Treatment and Disposal**. Londres: IWA Publishing, 2007.
- BASTIAN, R; D. MURRAY. Guidelines for Water Reuse. **US EPA Office of Research and Development**, Washington, DC, EPA/600/R-12/618, 2012. Disponível em: <<https://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/P100FS7K.pdf>>. Acesso em: setembro de 2018.
- BATTISTELLI, A. A. et al. Anoxic/Oxic Electro-Membrane Bioreactor: Effect of Hydraulic Retention Time on Treatment Performance. **Journal of Environmental Engineering**, V. 144, P. 1-9, 2018.
- BCB – Banco Central do Brasil. **Cotações e Boletins: Boletins intermediários de taxas de câmbio em uma data**. Disponível em: <<https://www4.bcb.gov.br/pec/taxas/port/ptaxnpsq.asp?id=tx-cotacao>>. Acesso em: setembro de 2018.
- BELLI, T. J. et al. Effect of solids retention time on nitrogen and phosphorus removal from municipal wastewater in a sequencing batch membrane bioreactor. **Environmental Technology**, v. 38, p. 1-38, 2016.
- BHOYE, V. Y.; SANER, A. B.; AHER, P. D. Life Cycle Cost Analysis of Sewage Treatment Plants. **International Journal of Modern Trends in Engineering and Research**, p. 426-429, 2016.
- BRASIL. Ministérios das Cidades. Secretaria de Saneamento Ambiental – SNSA. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2016**, Brasília: SNSA/MCIDADES, 2018a.
- BRASIL. Ministério da Fazenda, Receita Federal. **Simulador do Tratamento Tributário e Administrativo das Importações**. Disponível em: <<https://www4.receita.fazenda.gov.br/simulador/>>. Acesso em: 21/09/2018b.
- BREPOLS, C.; SCHÄFER, H.; ENGELHARDT, N. Considerations on the design and financial feasibility of full-scale membrane bioreactors for municipal applications. **Water Science and Technology**, v. 61, n. 10, p. 2461-2468, 2010.
- CASAN. **Companhia Catarinense de Águas e Esgoto: Tabela Tarifária**. Disponível em: <[https://www.casan.com.br/ckfinder/userfiles/files/Documentos\\_Download/publica%C3%A7%C3%A3o%20Tabela%20Tarif%C3%A1ria%202018.pdf#400](https://www.casan.com.br/ckfinder/userfiles/files/Documentos_Download/publica%C3%A7%C3%A3o%20Tabela%20Tarif%C3%A1ria%202018.pdf#400)>. Acesso em: setembro de 2018.
- CASAN. **Companhia Catarinense de Águas e Esgoto: Resultados das Licitações e Contratos Assinados**. Disponível em: <<https://www.casan.com.br/menu-conteudo/index/url/resultados-das-licitacoes-e-contratos-assinados#0>>. Acesso em: agosto de 2018.
- CELESC. **Centrais Elétricas de Santa Catarina: Tarifas**. Disponível em: <<http://www.celesc.com.br/portal/index.php/duvidas-mais-frequentes/1140-tarifa>>. Acesso em: setembro de 2018.
- COSTA, R. E. et al. Comparative study on treatment performance, membrane fouling, and microbial community profile between conventional and hybrid sequencing batch membrane bioreactors for municipal wastewater treatment. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 1, p. 1-16, 2018.
- COTE, P.; ALAM, Z.; PENNY, J. Hollow fiber membrane life in membrane bioreactors (MBR). **Desalination**, v. 288, p. 145-151, 2012.
- DHILLON, B. S. **Life Cycle Costing for Engineers**. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2010.
- IGLESIAS, R. et al. Comparison of full scale water reclamation technologies with an emphasis on membrane bioreactors. **Water Science & Technology**, v. 75, n. 11, p. 2562-2570, 2017.
- ITOKAWA, H. et al. Design and operating experiences of full-scale municipal membrane bioreactors in Japan. **Water Science & Technology**, p. 1088-1094, 2014.
- JUDD, S. J. Membrane technology costs and me. **Water Research**, v. 122, p. 1-9, 2017.
- JUDD, S.; JUDD, C. **The MBR Book: Principles and Applications of Membrane Bioreactors in Water and Wastewater Treatment**. Second ed. Oxford: Elsevier, 2011.
- KOOTENAEI, F. G.; AMINIRAD, H. Membrane Biological Reactors (MBR) and Their Applications for Water Reuse. **International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research**, v. 2, n. 7, p. 2208-2216, 2014.
- KOUL, A.; JOHN, S. A Life Cycle Cost Approach for Evaluation of Sewage Treatment Plants. **International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering**, v. 2, n. 7, p. 15-20, 2015.
- KRZEMINSKI, P. et al. Membrane bioreactors – A review on recent developments in energy reduction, fouling control, novel configura-

rations, LCA and market prospects. **Journal of Membrane Science**, v. 527, n. December 2016, p. 207–227, 2017.

KUBBA, S. **Green Construction Project Management and Cost Oversight**. Oxford: Elsevier Science, 2010.

LE-CLECH, P. Membrane bioreactors and their uses in wastewater treatments. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 88, n. 6, p. 1253–1260, 2010.

LO, C. H.; MCADAM, E.; JUDD, S. The cost of a small membrane bioreactor. **Water Science & Technology**, p. 1739–1746, 2015.

MARECOS, H.; ALBUQUERQUE, A. **Reutilização de Águas Residuais**. Lisboa: Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos e Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, 2010.

MENG, F. et al. Recent advances in membrane bioreactors (MBRs): Membrane fouling and membrane material. **Water Research**, v. 43, n. 6, p. 1489–1512, 2009.

METCALF; EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse**. 4. ed. New York: McGraw-Hill, 2003.

METCALF; EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment and Reuse**. 5a ed. New York: McGraw-Hill, 2014.

PIRANI, S. et al. Life Cycle Assessment of Membrane Bioreactor Versus Cas Wastewater Treatment: Masdar City and Beyond. **The Sixth Jordan International Chemical Engineering Conference**, p. 1–10, 2012.

REBITZER, G.; HUNKELER, D.; JOLLIEP, O. LCC – The Economic Pillar of Sustainability: Methodology and Application to Wastewater Treatment. **Environmental Progress**, n. 4, p. 241–249, 2003.

SAMAE BLUMENAU – Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto de Blumenau. **Edital N° 001/2018**. Disponível em: <<http://www.ibam-concursos.org.br/documento/EDITSAMAE183.pdf>>. Acesso em: agosto de 2018.

SAMAE ORLEANS – Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto – Autarquia do Município de Orleans-SC. **Edital Concurso Público 001/2018**. Disponível em: <<http://concursos.unibave.net/uploads/210/concursos/24/anexos/51202ff0fb922cae064d-42d74a28884b.pdf>>. Acesso em: agosto de 2018.

SAMAE SÃO BENTO DO SUL – Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto de São Bento do Sul, SC. **Edital N° 001/2018/SAMAE**. Disponível em: <<https://www.acesseconcursosoc.com.br/>

[arquivos/00083/1524861450\\_samaeretificado.pdf](#)>. Acesso em: agosto de 2018.

SAMAE URUSSANGA – Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto de Urussanga/SC. **Edital n.º 003/2018 de CONCURSO PÚBLICO**. Disponível em: <<https://www.novaconcursos.com.br/portal/wp-content/uploads/2018/07/edital-samae-de-urussanga-sc.pdf>>. Acesso em: agosto de 2018.

SANTA CATARINA. Secretaria do Estado da Fazenda. **Lei 10.297, de 26 de dezembro de 1996**. Regulamenta a Legislação tributária no estado. Disponível em: <[http://legislacao.sef.sc.gov.br/Consulta/Views/Publico/Frame.aspx?x=/Cabecalhos/frame\\_lei\\_10297.htm/](http://legislacao.sef.sc.gov.br/Consulta/Views/Publico/Frame.aspx?x=/Cabecalhos/frame_lei_10297.htm/)>. Acesso em: setembro de 2018.

SUEZ. **Water Technologies & Solutions – Fact sheet: ZeeWeed 500D cassette**, 2017. Disponível em: <[https://www.suezwatertechnologies.com/kcpguest/documents/Fact\\_Sheets\\_Cust/Americas/English/FSpw500D-CASS\\_EN.pdf](https://www.suezwatertechnologies.com/kcpguest/documents/Fact_Sheets_Cust/Americas/English/FSpw500D-CASS_EN.pdf)>. Acesso em: setembro de 2018.

SUEZ. **Water Technologies & Solutions – Fact sheet: ZeeWeed 500D module**, 2016. Disponível em: <<https://www.suezwatertechnologies.com/products/zeeweed-500-membrane>>. Acesso em: setembro de 2018.

VERRECHT, B. et al. The cost of a large-scale hollow fibre MBR. **Water Research**, v. 44, n. 18, p. 5274–5283, 2010.

VERRECHT, B. et al. Economical Evaluation and Operating Experiences of a Small-Scale MBR for Nonpotable Reuse. **Journal of Environmental Engineering**, v. 138, n. 5, p. 594–600, 2012.

VISAN – Serviço Autônomo de Água e Esgoto do Município de Videira – VISAN. **Edital de Concurso Público N° 001/2018**. Disponível em: <<https://editalconcursosbrasil.com.br/wp-content/uploads/2018/08/edital-001-2018-visan.pdf>>. Acesso em: agosto de 2018.

VON SPERLING, M. **Lodos Ativados – Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**, v.4. 2.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade de Minas Gerais, 2002.

VON SPERLING, M. **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.