

# Custos de operação e manutenção de estação de tratamento de esgotos por reator anaeróbio e lodos ativados

*Operating and maintenance costs of wastewater treatment plant by anaerobic reactor and activated sludge*

Bruno de Medeiros Souza<sup>1\*</sup> , Marco Antonio Calazans Duarte<sup>1</sup> , Juliana Delgado Tinôco<sup>2</sup> 

## RESUMO

## ABSTRACT

Este trabalho apresentou estudos de custos de operação e manutenção (O&M) na estação de tratamento de esgotos (ETE) de nível terciário, intitulada ETE do Baldo, localizada na cidade de Natal, Rio Grande do Norte. Teve como objetivo avaliar a eficiência econômico-ambiental da ETE através da determinação de indicador de desempenho, calculado via identificação e quantificação de todos os custos operacionais e de manutenção envolvidos nos seus processos internos de tratamento. Na pesquisa, foram identificados os diversos componentes dos custos de O&M responsáveis pelas atividades necessárias ao funcionamento da ETE de julho de 2016 a dezembro de 2018, reunidos em quatro grupos de custos. Os custos mensais foram correlacionados com os dados de vazões do período, e os de O&M por metro cúbico de esgoto tratado ao longo dos anos de 2016, 2017 e 2018 assumiram valores médios de R\$ 0,32, R\$ 0,30 e R\$ 0,38·m<sup>3</sup>, respectivamente. Os custos referentes ao pessoal e ao consumo energético exerceram, em todos os meses analisados, o primeiro e o segundo componentes de maior representatividade no custo total, assumindo as seguintes composições percentuais: 56,72 e 26,75% no segundo semestre do ano de 2016; 46,69 e 28,73% no ano de 2017; e 52,44 e 27,56% no ano 2018. Por fim, recomendam-se estudos na implementação de melhorias nos grupos pessoal e energia, tendo em vista que são responsáveis por cerca de 75% de todos os custos de O&M da ETE.

This study presented operational and maintenance costs (O&M) at the tertiary wastewater treatment plant (WWTP) entitled Baldo's ETE, located in the city of Natal, Rio Grande do Norte. Its aim was to evaluate the economic and environmental efficiency of the WWTP through the determination of a performance indicator, calculated from the identification and quantification of all the operational and maintenance costs involved in its internal processes of treatment. The research identified the various components of O&M costs responsible for the activities necessary for the operation of the WWTP from July 2016 to December 2018, assembled into 4 cost groups. The monthly costs were correlated with the flow data of the period. O&M costs per cubic meter of sewage treated over the years 2016, 2017, and 2018 assumed average values of R\$ 0.32, R\$ 0.30, and R\$ 0.38·m<sup>3</sup>, respectively. Personnel and energy consumption costs accounted for the first and second most representative components of the total cost in all the months analyzed, with the following percentage compositions: 56.72 and 26.75% in the second half of 2016; 46.69 and 28.73% in 2017; and 52.44 and 27.56% in the year 2018. Finally, studies on the implementation of improvements in the personal and energy groups are recommended, as they account for about 75% of all O&M costs of the WWTP.

**Palavras-chave:** composição de custos em saneamento; indicador econômico em estação de tratamento de esgoto; eficiência econômico-ambiental.

**Keywords:** composition of costs in sanitation; economic indicator in wastewater treatment plant; economic-environmental efficiency.

## INTRODUÇÃO

É reduzido o número de trabalhos que contabilizam os custos de operação e de manutenção (O&M) em estações de tratamento de esgotos (ETE) tanto na literatura nacional como na internacional (SAMPAIO; GONÇALVES, 1999;

FREITAS *et al.*, 2009; RUIZ-ROSA; GARCÍA-RODRÍGUEZ; MENDOZA-JIMÉNEZ, 2016). A maioria das pesquisas refere-se ao desempenho das ETE sob indicadores estritamente ambientais, raramente correlacionando-os com critérios econômicos. Nos poucos artigos relacionados à temática de custos em ETE,

<sup>1</sup>Instituto Federal do Rio Grande do Norte - Natal (RN), Brasil.

<sup>2</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Natal (RN), Brasil.

\*Autor correspondente: brunnomedeiros@yahoo.com.br

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

Financiamento: nenhum.

Recebido: 27/07/2019 - Aceito: 07/05/2020 - Reg. ABES: 20190228

as análises de custos de implantação predominam (SAMPAIO; GONÇALVES, 1999; LEONETI; OLIVEIRA; PIRES, 2013). Além disso, a precariedade de informações que discorrem sobre os custos operacionais e de manutenção das ETE existentes no Brasil obriga os gestores a buscarem informações internacionais, algumas vezes desarticuladas com a prática nacional ou até regional (SAMPAIO; GONÇALVES, 1999).

Conforme apontado por Su *et al.* (2019), assim como as indústrias, no que diz respeito ao objetivo da sua atividade fim, as ETE se configuram como unidades consumidoras de diversos recursos naturais, como energia, água e combustíveis. Esses recursos são necessários ao adequado desenvolvimento das suas atividades rotineiras e, de acordo com Piao *et al.* (2016), Fang *et al.* (2016) e Anzilago *et al.* (2017), se observa uma tendência por parte da sociedade em pressionar as organizações no âmbito da incorporação de estratégias sustentáveis. Segundo Sweetapple *et al.* (2019), a prática da sustentabilidade em sistemas de esgotamento sanitário deve contemplar, além de indicadores sociais e ambientais, indicadores econômicos atrelados aos custos de O&M; portanto, o conhecimento de tais indicadores é de fundamental importância para a realização de intervenções seguras nos sistemas, com vistas a reduzir possíveis condições adversas, como alterações em tarifas energéticas ou incrementos populacionais demasiados. Nesse contexto, Dereszewska e Cytawa (2016) relatam em seu trabalho uma série de ganhos ambientais observados em uma comunidade inserida nas costas do mar Báltico após a realização de intervenções na gestão operacional da ETE SWARZEWO, baseadas em tomadas de decisões através de análises de indicadores, inclusive os econômicos.

Em se tratando de Brasil, a eficiência da prestação dos serviços públicos é um dos princípios do direito administrativo que deve ser respeitado. No setor do saneamento, tal premissa não é diferente e, a partir da promulgação da Lei nº 11.445/2007, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, verifica-se um destaque da eficiência e da sustentabilidade econômica como princípios fundamentais a serem cumpridos na efetivação desses serviços (BRASIL, 2007). A referida Lei expõe que as ações implementadas através de investimentos públicos relacionados ao saneamento devem atingir índices mínimos de eficiência e eficácia desses serviços durante toda a vida útil do empreendimento. Tais índices são objetos de fiscalização por parte de entidades reguladoras e devem ser publicados em sistemas de informações, em busca da transparência das ações (BRASIL, 2007). Dessa forma, é crucial que esses elementos contemplem, em sua estruturação, os custos envolvidos na operação e na manutenção dos sistemas para que, assim, sirvam realmente de instrumentos objetivos de mensuração. Nessa vertente, segundo Von Sperling e Von Sperling (2013), a Lei institucionaliza a utilização dos Indicadores de Desempenho (ID) como ferramentas úteis ao processo de planejamento, regulação e fiscalização dos serviços.

De acordo com Von Sperling e Von Sperling (2013) e Sandrin *et al.* (2015), trabalhos que definem ID assumem papel importante na evolução da informação do setor de saneamento, pois esses indicadores atuam quantitativamente na aferição da eficiência e da eficácia dos sistemas, tal como preconizado pela Lei nº 11.445/2007. Reportando-se ao artigo 23 da Lei nº 11.445/2007, torna-se evidente a preocupação em se cumprir com qualidade os serviços relacionados ao saneamento, uma vez que os requisitos de qualidade devem ser contemplados não apenas sob as óticas ambiental ou técnica mas também econômica. Isso ocorre devido à obtenção de eficiência e de eficácia em diversas dimensões, a fim de se alcançar uma otimização do recurso público diante dos serviços prestados, sem onerar os usuários do sistema (CARVALHO, 2013; SU *et al.*, 2019),

inclusive com monitoramento dos custos. Portanto, os ID devem ser desenvolvidos de modo a incorporar essa nova lógica econômica em seus cálculos, para que possam ser utilizados como recursos basilares nos processos de tomadas de decisões estratégicas (LEONETI; OLIVEIRA; PIRES, 2013; RUIZ-ROSA; GARCÍA-RODRÍGUEZ; MENDOZA-JIMÉNEZ, 2016). Conforme Meneses *et al.* (2015), Lu, Du e Huang (2017) e Long *et al.* (2019), a condução das estratégias adotadas nas rotinas operacionais de ETE provém do equilíbrio ou do custo-benefício obtido entre os indicadores de desempenho ambiental, desde que vinculados à qualidade do efluente e aos indicadores econômicos que estão atrelados aos custos operacionais.

Nesse contexto, ganha destaque a implementação de ID nas companhias de saneamento e nas agências reguladoras como ferramenta útil à mensuração da qualidade da prestação dos serviços e, conseqüentemente, como instrumento que alicerça tomadas de decisões convergentes à garantia da qualidade, à sustentabilidade, ao atendimento dos interesses dos consumidores e à rentabilidade financeira do sistema (COROMINAS *et al.*, 2013; TRENNEPOHL; SOARES; KOSSATZ, 2017). De acordo com Carvalho (2013), os ID atuam como instrumentos-chave de apoio à gestão dos serviços de saneamento, tornando os processos decisórios mais objetivos e menos complexos.

Considerando então que as ETE são unidades constituintes do sistema de esgotamento sanitário e que este é um dos integrantes das quatro vertentes do saneamento básico, é essencial que a avaliação da eficiência e, conseqüentemente, da sustentabilidade econômica, deva ser estendida a essas instalações, pois, segundo Roefs *et al.* (2017) e Garrido-Baserba *et al.* (2018), a magnitude da relevância dos custos de O&M em ETE no custo total do sistema de esgotamento sanitário (implantação e operação de redes coletoras, estações elevatórias, ETE, emissários) pode assumir a parcela de mais de 25% do valor total.

Diante da necessidade de incremento do número de ETE no Brasil e no mundo nos próximos anos, torna-se primordial a determinação de ID que contemplem esse viés econômico, a fim de servir como um instrumento de apoio ao monitoramento da eficiência e da eficácia da ETE (PIAO *et al.*, 2016; REVOLLAR *et al.*, 2017; BUONOCORE *et al.*, 2018), inclusive servindo como base de comparações com outros sistemas similares, de modo a buscar análises mais objetivas destes, considerando também o fator de variação dos custos de O&M em função da depreciação no tempo das instalações (HERNÁNDEZ-SANCHO; MOLINOS-SENANTE; SALA-GARRIDO, 2011; RUIZ-ROSA; GARCÍA-RODRÍGUEZ; MENDOZA-JIMÉNEZ, 2016).

Tendo isso em vista, a presente pesquisa está inserida em um contexto que vem ganhando aceitabilidade no setor do saneamento e na área ambiental no Brasil e no mundo, e teve interesse voltado ao levantamento dos custos de O&M de uma ETE de nível terciário, com base na determinação de ID calculados por meio da mensuração dos custos operacionais e de manutenção.

## METODOLOGIA

### Local de estudo e descrição do tratamento

O estudo descrito foi realizado na ETE Dom Nivaldo Monte (ETE CENTRAL), popularmente denominada ETE do Baldo, gerenciada e operada pela Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN). A ETE está locada na cidade de Natal, no bairro da Cidade Alta, na Rua Governador Rafael Fernandes, S/N, entre a Rua Capitão Silveira Barreto e a Avenida Monsenhor Walfredo Gurgel.

A ETE possui capacidade de tratamento de  $450 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$  (final de plano no ano de 2024) e vazão correspondente a 02 módulos que apresentam capacidade de tratamento de  $225 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$ , ambos construídos e em operação atualmente (linha 1 e linha 2). No entanto, o terceiro módulo, de vazão também igual a  $225 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$ , ainda não foi construído (FERRAZ, 2014). Atualmente, a vazão média de operação da ETE é  $406 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$ , obtida através de leituras da calha Parshall. Além disso, ao se considerar uma contribuição *per capita* de  $200 \text{ L}\cdot(\text{hab}\cdot\text{dia})^{-1}$  e um coeficiente de retorno de 0,8, tem-se que a ETE do Baldo atende cerca de 220.000 habitantes.

A estação é constituída, inicialmente, por unidades de tratamento preliminar mecanizadas (gradeamento grosso, gradeamento fino e caixa de areia); logo após, o fluxo de esgoto se subdivide em duas linhas de tratamento que operam em paralelo e cada uma contém quatro reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manto de lodo (UASB), uma câmara anóxica, um tanque de aeração e um decantador secundário; e, por fim, o fluxo das duas linhas converge para a última etapa do tratamento, a unidade de desinfecção por radiação ultravioleta (UV).

As unidades de tratamento que compõem a ETE do Baldo estão identificadas na Figura 1. A Figura 2, no entanto, representa os fluxos das fases líquida, sólida e dos resíduos gerados na ETE. Nessa figura, as vazões da fase líquida foram indicadas. Para tanto, foi considerado que a vazão total afluyente a ETE corresponde a (Q) e que, após o tratamento preliminar, cada linha de tratamento recebe uma vazão (Q/2) (ARAÚJO *et al.*, 2017).

No que concerne à fase sólida, a unidade de desidratação recebe, através do tanque de lodo, a matéria sólida proveniente dos UASB (por gravidade ou por meio das elevatórias de espuma 1 e 2) e das superfícies dos decantadores

secundários (recalcados pela elevatória de espuma 3). O tanque de lodo é a unidade de estocagem e mistura do lodo que precede a unidade de desidratação, a qual ocorre através de centrifugação. Após desidratado, o lodo é transportado, com a areia e os sólidos grosseiros, até o Aterro Sanitário Metropolitano de Natal, localizado no município de Ceará-Mirim, Rio Grande do Norte, com distância de 23 km da ETE do Baldo.

### Levantamento de custos de operação e de manutenção

Para a elaboração deste trabalho, foram identificados os custos de O&M da ETE do Baldo, tendo como base informações adquiridas de forma dispersa em vários setores da CAERN, agrupados e quantificados mensalmente. Os dados foram coletados de julho de 2016 até dezembro de 2018, abrangendo 30 meses de observação de dados. Os volumes mensais de esgoto tratado foram obtidos por meio dos registros operacionais utilizados pela própria equipe gestora da ETE, ao passo que as vazões foram calculadas através das médias das leituras diárias da calha Parshall em quatro horários diferentes, sendo: 07h, 12h, 19h e 0h, distribuindo ao longo dos 30 meses de estudo.

Trennepohl, Soares e Kossatz (2017) definem o termo O&M como o conjunto de tarefas necessárias para gerir uma empresa ou companhia que atua em atividades fins do setor de saneamento básico, por exemplo, a coleta e o tratamento de esgotos, com exceção da construção de novas instalações. Segundo Ruiz-Rosa, García-Rodríguez e Mendoza-Jiménez (2016), os custos de O&M contemplam todas as atividades responsáveis ao funcionamento diário da ETE, abrangendo, assim, pessoal nos níveis gerencial, operacional e laboratorial, tarifa de energia



UV: ultravioleta.

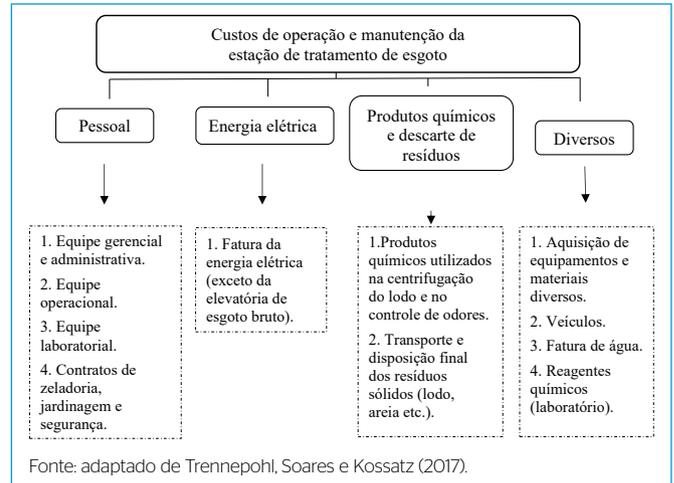
Fonte: adaptado de Google Earth (2019).

Figura 1 - Vista geral das unidades da estação de tratamento de esgoto do Baldo, Natal/RN.

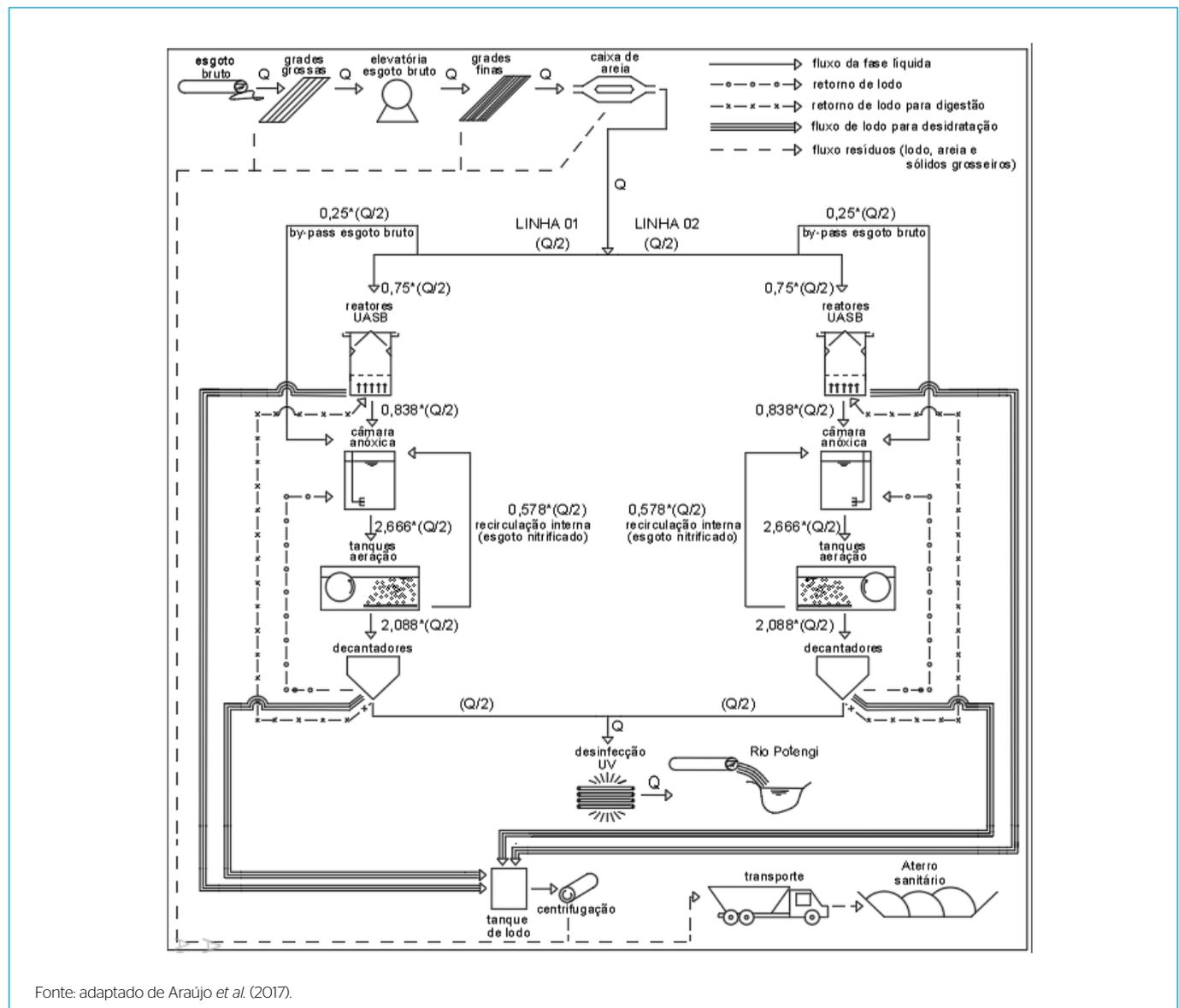
e de água, veículos, substituição e manutenção de equipamentos, produtos químicos, reagentes químicos para análises laboratoriais, transporte e disposição final de resíduos (lodo, areia e sólidos grosseiros).

Na organização dos diversos custos envolvidos na O&M da ETE, verificou-se a possibilidade de agrupamento em quatro grandes grupos de custos, expostos na Figura 3, conforme Ruiz-Rosa, García-Rodríguez e Mendoza-Jiménez (2016) e Trennepohl, Soares e Kossatz (2017). O agrupamento foi adotado por facilitar a manipulação e a exposição visual das informações.

Com o custos de *peessoal*, foram contemplados os custos mensais das remunerações brutas dos funcionários pertencentes ao quadro próprio da CAERN (contratados) e que são envolvidos na supervisão e na operação direta das unidades da referida ETE, juntamente com os custos mensais dos contratos celebrados com as empresas terceirizadas responsáveis pelos serviços de zeladoria (limpeza), segurança patrimonial e jardinagem. Quanto ao quadro próprio dos funcionários da CAERN, considerou-se como remuneração bruta as obrigações salariais, as comissões, os adicionais (periculosidade, insalubridade, noturno),



**Figura 3** – Divisão dos grupos de custos de operação e manutenção da estação de tratamento de esgoto do Baldo, Natal/RN.



**Figura 2** - Indicação do fluxos das fases líquida, sólida e dos resíduos da estação de tratamento de esgoto do Baldo, Natal/RN.

as horas extras, o abono de férias, o décimo terceiro, as bonificações, entre outros, além de que foi acrescido o valor de 73,57% sob a remuneração bruta dos funcionários próprios da CAERN, relativos aos encargos trabalhistas (CEF, 2017). No que diz respeito aos funcionários que atuam diretamente nas áreas gerencial, administrativa, operacional e laboratorial da ETE, ocupam os cargos de engenheiro civil, técnico de controle ambiental, agente administrativo, técnico de mecânica, eletromecânico, mecânico geral, mecânico de manutenção, operador de sistema de água e esgoto, biólogo, laboratorista e estagiários.

Para a composição do custo com *energia elétrica*, além da quantificação mensal das tarifas pagas, realizou-se um estudo específico visando mensurar o consumo energético de cada setor na ETE. Nesse estudo, apesar de identificada a parcela percentual referente ao consumo energético dos equipamentos da estação elevatória de esgoto bruto (EEEB), localizada no interior da área ETE e responsável por recalcar o esgoto bruto provindo do gradeamento grosseiro ao gradeamento fino, na composição do valor financeiro deste grupo de custos, esta parcela não foi considerada. Justifica-se essa medida sob a ótica de que a estação elevatória não pertence à tipologia do tratamento de esgotos adotada, ou seja, seu emprego naquela ETE justifica-se apenas pelo fator topográfico. Dessa forma, caso seu custo energético fosse considerado, como assume um valor impactante no custo total, a comparação dos custos de O&M da ETE do Baldo com outras ETE pode ter a confiabilidade afetada.

Portanto, nesse grupo de consumo, foram contabilizados os custos mensais referentes ao funcionamento de todos os sistemas e equipamentos que demandassem energia elétrica, com exceção apenas dos equipamentos pertencentes à EEEB. O conjunto dos sistemas e equipamentos que consomem energia elétrica é composto pelo aparato responsável pelo funcionamento de grades grossas, finas, correias e parafusos transportadores, removedores e parafusos lavadores de areia, elevatórias de espuma 01, 02 e 03, misturadores submersíveis, sopradores, elevatórias de recirculação interna dos tanques de aeração, elevatória de retorno de lodo, elevatória de excesso de lodo, remoção do lodo dos decantadores secundários, processo de desinfecção UV (através de lâmpadas), desidratação do lodo, desodorização, talhas elétricas, medidores diversos (potencial hidrogeniônico, vazão, oxigênio dissolvido), além de toda iluminação da ETE, assim como as tomadas de uso geral e específicos.

Por outro lado, o grupo *produtos químicos e descarte de resíduos sólidos* contempla os valores contratuais desembolsados mensalmente à empresa responsável por realizar o transporte dos resíduos sólidos gerados na ETE (lodo e areia) até o aterro sanitário do município de Ceará-Mirim, assim como à administração do aterro sanitário para a autorização da disposição final daqueles resíduos nessa área e, ainda, os custos mensais referentes aos produtos químicos utilizados no tratamento dos gases e na desidratação do lodo.

Além disso, o grupo custos *diversos* é composto por uma diversidade heterogênea de despesas. Contempla desde aquisições de materiais de expediente e equipamentos diversos necessários à adequada operação da ETE (parafusos, rotores, bombas, lâmpadas UV, invólucros das lâmpadas UV, grade fina, etc.), até locação de veículos, manutenção de veículos próprios da Companhia, combustíveis, pagamentos de taxas referentes a licenciamento e seguro da frota própria de veículos, além da tarifa de água e dos custos referentes aos reagentes utilizados nos laboratórios sediados na própria ETE e na CAERN Central. Na mensuração das despesas com aquisição de equipamentos, cujos valores foram iguais ou superiores ao montante de R\$ 100.000,00 (cem mil reais), amortizou-se o valor presente líquido (VPL) em um período financeiramente equivalente a

180 meses fixados (SILVA, 2008; GOMES, 2009; CEF, 2015), de forma que o mês 1 corresponda ao mês imediatamente seguinte à data do pagamento do equipamento (custo fixo). Logo, não foram contabilizadas as parcelas amortizadas que não estiveram inclusas no período de estudo (julho de 2016 a dezembro de 2018). A taxa de juros anual ( $i_a$ ) considerada foi de 6% (CEF, 2015) e, após convertida ao mês, resultou em uma taxa mensal ( $i_m$ ) de 0,5%. Os equipamentos adquiridos que tiveram seus custos fixos amortizados correspondem às lâmpadas UV (componente do sistema de desinfecção), compradas em julho de 2015 por R\$ 1.500.000,00 (um milhão e quinhentos mil), à grade fina (integrante do tratamento preliminar), obtida no mês de setembro de 2017 a um valor de R\$ 400.000,00 (quatrocentos mil reais), e aos invólucros das lâmpadas UV, adquiridas no mês de setembro de 2018 pelo custo de R\$ 300.000,00 (trezentos mil reais). O custo de aquisição dos sistemas bombeadores da EEEB adquiridos em julho de 2015 pelo valor de R\$ 100.000,00 (cem mil reais) não foi considerado.

É importante destacar que os custos com o contrato de locação de veículos para ETE e com manutenção, licenciamentos, taxas dos veículos próprios da Companhia sediados na ETE, assim como o custo de combustível e de reagentes químicos utilizados no laboratório, também compõem esse grupo. Quanto à tarifa de água, apesar de haver consumo desse recurso na ETE para o desenvolvimento das atividades rotineiras da estação, o valor mensal não é faturado pela Companhia. Apesar disso, neste trabalho, esta tarifa foi considerada e a categoria de imóvel, enquadrada para fins de cálculo do faturamento do órgão público.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 4, 5 e 6 representam, respectivamente, os custos volumétricos mensais ( $\text{R}\$ \cdot \text{m}^{-3}$ ) nos anos de 2016, 2017 e 2018. Na Figura 4, verifica-se que o custo de O&M varia no segundo semestre do ano de 2016 de R\$ 0,30 a  $0,34 \cdot \text{m}^{-3}$ , assumindo um valor médio de  $\text{R}\$ 0,32 \pm 0,01 \cdot \text{m}^{-3}$ . Nesse período, o custo referente ao *peçoal* representou  $56,72 \pm 2,64\%$  do custo total, sendo o maior influenciador na composição do custo de O&M da ETE. O pico no custo do *peçoal* no mês de agosto foi ocasionado pelo pagamento do retroativo do dissídio coletivo. Já o custo *energético* foi o segundo maior impactante, representando  $26,75 \pm 2,14\%$ . O terceiro maior componente do custo total foi o grupo intitulado *diversos*, representando  $13,31 \pm 0,69\%$ .

Analisando a Figura 5, observa-se que durante todo o ano de 2017 os custos de O&M variaram de R\$ 0,24 a  $0,35 \cdot \text{m}^{-3}$  de esgoto tratado, com valor médio de  $\text{R}\$ 0,30 \pm 0,03 \cdot \text{m}^{-3}$ . Durante todos os meses do ano, o custo de *peçoal* significou o maior impacto no custo total, assumindo um valor médio de  $46,69 \pm 3,78\%$ . Os picos no *peçoal*, nos meses de maio e setembro, são, respectivamente, referentes aos pagamentos da bonificação por produtividade e ao retroativo do dissídio coletivo. Assim, observa-se que a curva que representa o custo total tem sua conformação bastante semelhante à curva do custo de *peçoal*, o que demonstra a influência da variação deste na totalidade dos custos. O *energético*, por sua vez, foi o segundo componente de maior relevância no custo total, contribuindo com um valor médio anual de  $28,73 \pm 2,15\%$ . O terceiro maior custo ao longo do ano foi representado pelos custos *diversos* que compuseram  $13,29 \pm 1,15\%$  do custo anual total.

Durante o ano de 2018, conforme expõe a Figura 6, os custos de O&M variaram de R\$ 0,34 a  $0,46 \cdot \text{m}^{-3}$  de esgoto tratado, admitindo um valor médio de  $\text{R}\$ 0,38 \pm 0,04 \cdot \text{m}^{-3}$ . Durante todos os meses desse ano, a parcela mais significativa no custo total foi a do *peçoal*, assumindo  $52,44 \pm 5,32\%$ . Os picos nesse custo, nos meses de junho e dezembro, são, respectivamente, referentes

aos pagamentos da bonificação por produtividade e da gratificação natalina (décimo terceiro salário) — o pagamento no mês de setembro do retroativo do dissídio coletivo não impactou de forma relevante, apenas atuou como ponto de inflexão na curva, sem atingir, no entanto, pico de magnitude considerável.

Também se observa, assim como no ano de 2017, que a curva que representa o custo total tem sua conformação bastante influenciada pela curva do custo de *peçoal*. Por fim, o segundo custo mais impactante foi o *energético*, representando uma contribuição média anual de  $27,56 \pm 4,46\%$  do valor total dos

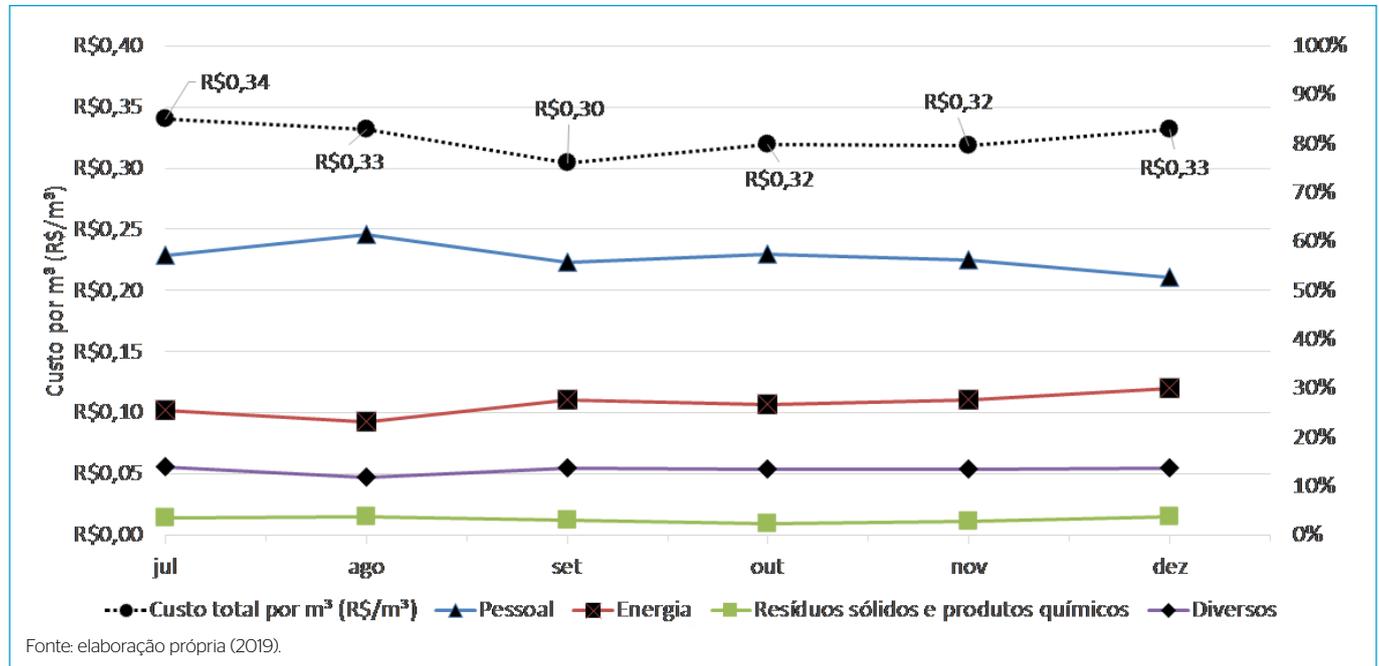


Figura 4 - Custo volumétrico total de operação e manutenção (R\$/m³) e contribuição percentual dos grupos pessoal, energia, diversos, resíduos sólidos e produtos químicos no ano de 2016 (segundo semestre) da estação de tratamento de esgoto do Baldo, Natal/RN.

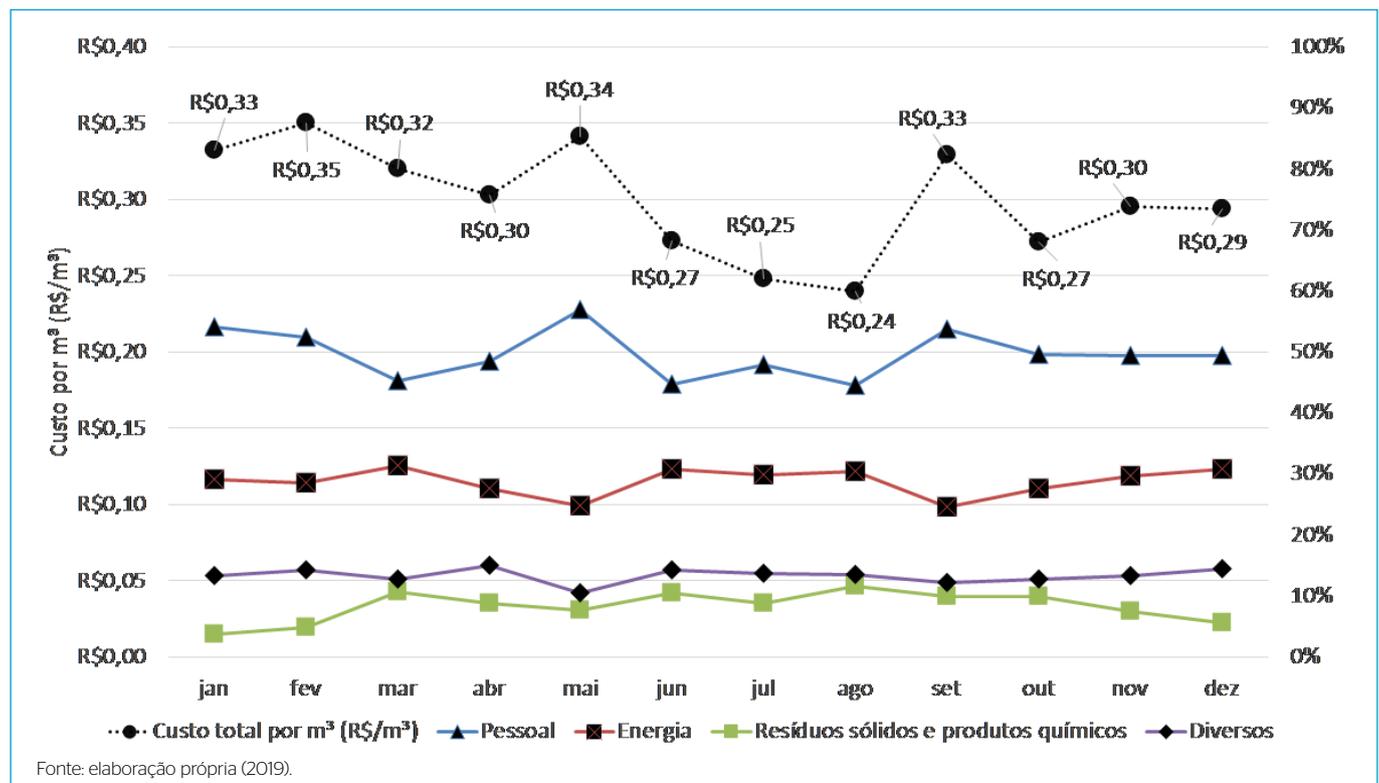


Figura 5 - Custo total de operação e manutenção (R\$/m³) e contribuição percentual dos grupos pessoal, energia, diversos, resíduos sólidos e produtos químicos no ano de 2017 da estação de tratamento de esgoto do Baldo, Natal/RN.

custos de O&M, ao passo que o terceiro maior custo foi representado pelos custos *diversos*, com um valor médio de  $11,27 \pm 1,47\%$ .

Os valores encontrados na Figura 6 são semelhantes aos dos estudos de Jordão (2008), que cita que o custo com pessoal em ETE tipo lodos ativados representa aproximadamente 50% dos custos de O&M, e o consumo energético assume cerca de 20% da composição total das despesas. Barros (2013), ao estudar ID para avaliação de ETE, a partir da análise de 12 anos do desempenho da ETE Brasília Norte (tipo lodos ativados), constatou que, na composição dos custos de O&M, as parcelas mais significativas são referentes ao custo de pessoal, seguido pelo energético. Castellet e Molinos-Senante (2016), por sua vez, através de pesquisas sobre modelagem de custos de O&M em 49 ETE tipo lodos ativados, na Região da Valência, concluíram que os custos referentes ao pessoal e energia atingem, respectivamente, 38 e 25%.

A seguir, a Figura 7 representa a composição de cada unidade da ETE no custo energético total.

Já a Figura 8 representa a composição por setor da ETE no custo energético total, porém sem a participação da EEEB.

A magnitude dos valores do consumo energético para funcionamento dos sopradores identificados na ETE do Baldo, expostos acima, com valores de 49,02 (Figura 7) e 65,43% (Figura 8), confirma os resultados obtidos pelos estudos de Garrido-Baserba *et al.* (2018) e Gude (2015), que relatam valores entre 50 e 75% para ETE tipo lodos ativados. Por outro lado, Jordão (2008) cita que, em ETE desse tipo, a fase de aeração constitui mais da metade do consumo energético da estação. Além disso, Gude (2015), em estudos sobre modelagem de custos

de O&M de ETE tipo lodos ativados, concluiu que o consumo energético dos sopradores e das estações elevatórias em uma ETE representam as principais parcelas no custo energético total, constituindo 54,1 e 14,3%, respectivamente.

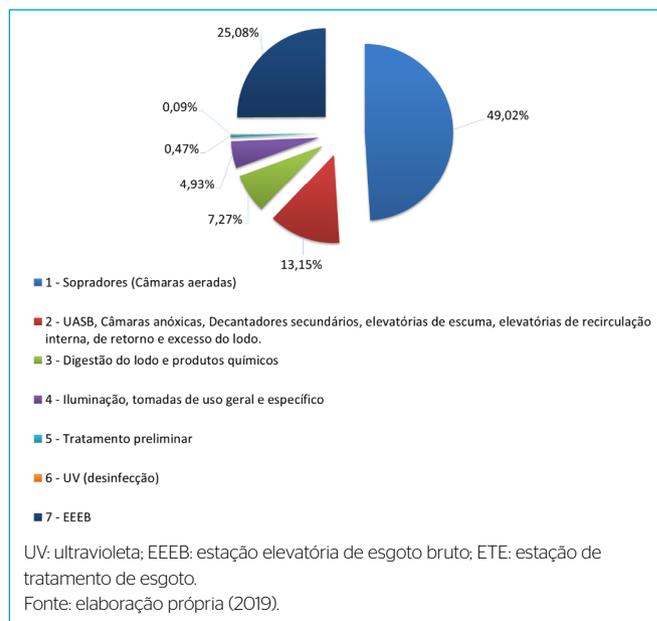


Figura 7 - Divisão dos custos energéticos por setor (incluso EEEB) na ETE do Baldo, Natal/RN.

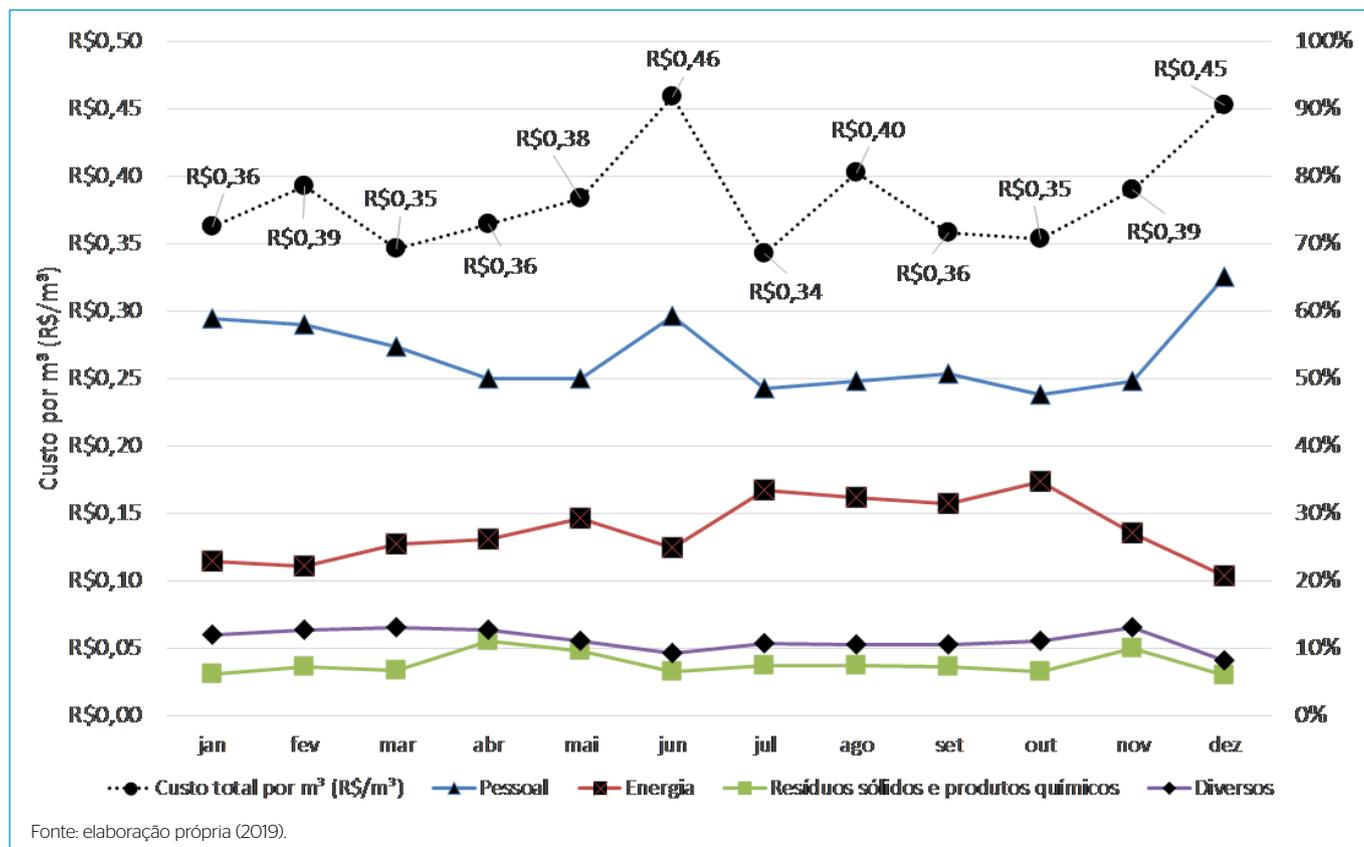


Figura 6 - Custo total de operação e manutenção por metro cúbico (R\$/m³) e a contribuição percentual dos grupos de custo pessoal, energia, diversos, resíduos sólidos e produtos químicos no ano de 2018 da estação de tratamento de esgoto do Baldo, Natal/RN.

Segundo Jordão (2008), é possível reduzir o custo energético em até 30% apenas com adoção de medidas operacionais convenientes a cada sistema (paralisação do bombeamento no horário de ponta, construção de tanque de equalização para redução de picos de bombeamento) sem perdas na eficiência do tratamento. Além disso, o monitoramento diário de consumos energéticos por unidade de tratamento e suas relações com indicadores típicos fornece condições de controle bem adequadas à otimização desses custos (JORDÃO, 2015).

Quanto aos custos anuais, a Figura 9 demonstra o comportamento da média do custo volumétrico total anual (R\$-m<sup>-3</sup>) ao longo dos anos de 2016 (segundo semestre), 2017 e 2018. Observa-se que há um declínio de 6,25% desse custo entre os anos de 2016 e 2017, e um aumento de 26,67% entre os anos de 2017 e 2018. O declínio entre os custos anuais registrado entre os anos de 2016 e 2017 pode ser justificado pelo fato de que, no ano de 2016, em razão de terem sido selecionados apenas os meses do segundo semestre para contabilização dos custos, o pagamento do retroativo do dissídio (ocorrido em agosto) e da gratificação natalina (paga em dezembro) foi dividido por somente 6 meses, diferentemente dos anos seguintes, em que esses custos foram divididos por 12 meses.

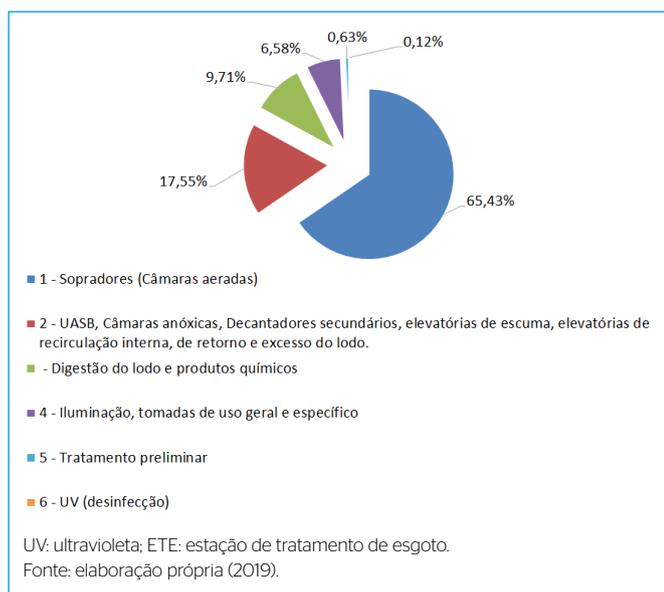


Figura 8 - Divisão dos custos energéticos por setor (excluindo elevatória de esgoto bruto) na ETE do Baldo, Natal/RN.

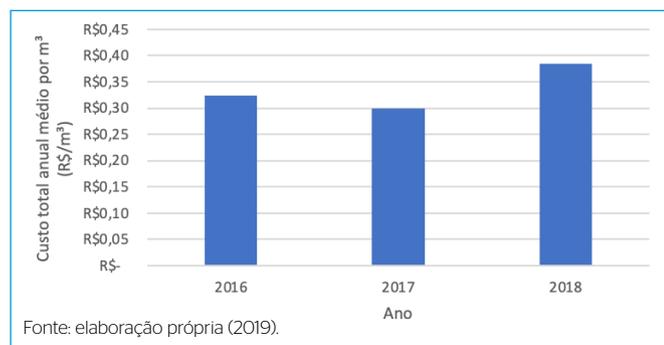


Figura 9 - Custo total (R\$/m<sup>3</sup>) nos anos de 2016 (segundo semestre), 2017 e 2018 da estação de tratamento de esgoto do Baldo, Natal/RN.

A pesquisa desenvolvida por Sampaio e Gonçalves (1999) em uma ETE por lodos ativados em Barueri, São Paulo, mensurou os custos de O&M durante um ano e revelou um custo de R\$ 0,45-m<sup>-3</sup>, valor atualizado pelo Índice Nacional de Custo da Construção (INCC). A ETE em questão possuía uma capacidade de tratamento de 7m<sup>3</sup>-s<sup>-1</sup>, mas funcionava com vazão média de 3,91 m<sup>3</sup>-s<sup>-1</sup>. Já Brostel, Neder e Souza (2000), por meio da análise dos custos de O&M das ETE Brasília Sul, Brasília Norte, Sobradinho e Riacho Fundo, todas tipo lodos ativados e operadas pela CAESB, obtiveram, respectivamente, os valores de R\$ 1,10, R\$ 1,62, R\$ 1,50 e R\$ 6,54-m<sup>-3</sup> (valores atualizados pelo INCC). As vazões de projeto das ETE Brasília Sul, Brasília Norte, Sobradinho e Riacho Fundo eram 1.500, 911, 70 e 19 L-s<sup>-1</sup> e apresentavam, em seqüência, 62, 45, 1,21 e 20% de relação entre a vazão atual na data da pesquisa e a vazão de projeto para cada ETE. O elevado custo por m<sup>3</sup> da ETE Riacho Fundo é atribuído ao alto custo de pessoal diante do porte da estação e da reduzida vazão de operação na época da pesquisa.

A Figura 10, por sua vez, expõe o custo *per capita* anual no período estudado da ETE do Baldo. Os valores em cada ano, respectivamente, foram R\$ 17,96-, R\$ 19 e R\$ 24,58-hab<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, havendo acréscimo de 5,79% entre os anos de 2016 e 2017, e de 29,37% entre 2017 e 2018. Os valores encontrados foram inferiores aos indicados por Von Sperling (2005) para ETE tipo lodos ativados com características semelhantes à ETE do Baldo, situando entre R\$ 26,54 e R\$ 59,39-hab<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (valores atualizados pelo INCC).

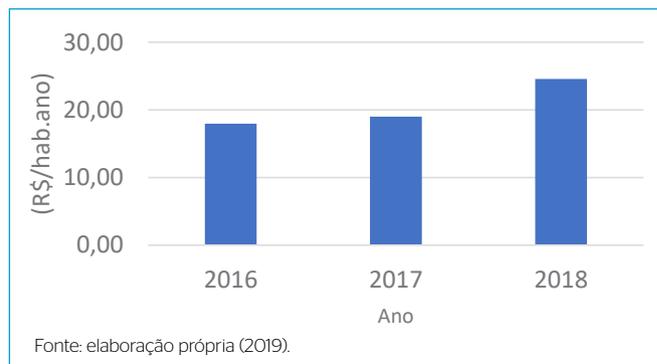


Figura 10 - Média anual do custo *per capita* mensal (R\$/hab.mês) nos anos de 2016 (segundo semestre), 2017 e 2018 da estação de tratamento de esgoto do Baldo, Natal/RN.

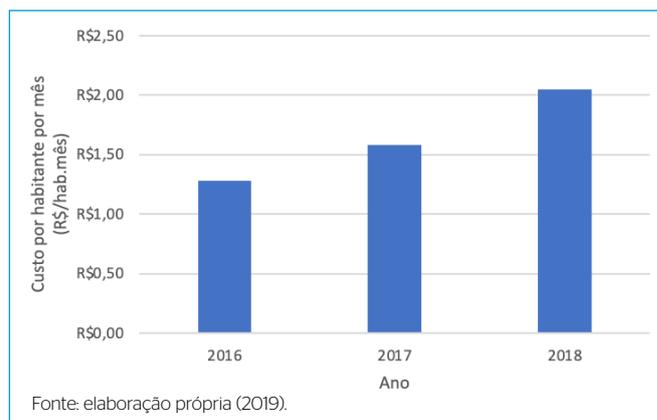
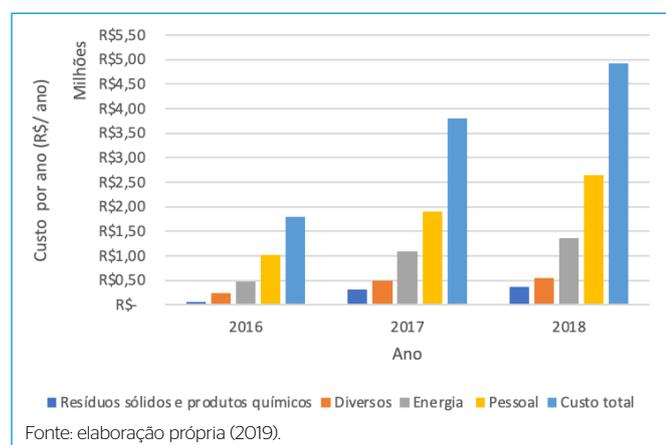


Figura 11 - Média anual do custo *per capita* mensal (R\$/hab.mês) nos anos de 2016 (segundo semestre), 2017 e 2018 da estação de tratamento de esgoto do Baldo, Natal/RN.

A comparação dos valores da ETE analisada em relação ao custo volumétrico (R\$/m<sup>3</sup>) e ao custo por números de habitantes atendidos (R\$/hab<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>) com os de outras ETE (nacionais e internacionais), na maioria das vezes, apresentou valores inferiores a favor da ETE estudada em razão de nesta ocorrer o tratamento anaeróbico (UASB) antes da etapa dos lodos ativados, característica não observada na maior parte das ETE utilizadas como base de comparação. É importante destacar que, ao se realizar comparações com ETE de outros países, as composições das remunerações salariais irão variar de acordo com a legislação vigente.

No que diz respeito à Figura 11, é possível observar a média anual do custo *per capita* mensal no período estudado. Os valores em cada ano, respectivamente, foram de R\$ 1,28, R\$ 1,58 e R\$ 2,05-hab<sup>-1</sup>.mês<sup>-1</sup>, havendo acréscimo de 23,42% entre os anos de 2016 e 2017, e de 29,37% entre 2017 e 2018.

A Figura 12 apresenta o comportamento em valores absolutos de todos os grupos de custos, inclusive seu somatório (custo total) ao longo dos anos



**Figura 12** - Custo anual (R\$/ano) de operação e manutenção dos grupos de custos e custo total nos anos de 2016 (segundo semestre), 2017 e 2018 da estação de tratamento de esgoto do Baldo, Natal/RN.

de 2016 (segundo semestre), 2017 e 2018. Percebe-se que há uma proporcionalidade de crescimento por parte de todos os custos ao longo desses anos. Observa-se também que não há alternâncias ao longo dos anos da representatividade de cada grupo de custo.

## CONCLUSÕES

Durante o período analisado, os custos de O&M por metro cúbico de esgoto tratado na ETE do Baldo, ao longo dos anos de 2016, 2017 e 2018, assumiram valores médios de R\$ 0,32, R\$ 0,30 e R\$ 0,38-m<sup>3</sup>, respectivamente. Os custos referentes ao pessoal e ao consumo energético exerceram, em todos os meses analisados, o primeiro e o segundo componentes de maior representatividade no custo total, assumindo as seguintes composições percentuais: 56,72 e 26,75% no segundo semestre do ano de 2016; 46,69 e 28,73% no ano de 2017; 52,44 e 27,56% no ano 2018, valores bem coerentes com os da literatura nacional e internacional. Entre os custos energéticos, merece realce o consumo dos sopradores, com 65,43% de influência.

Considerando que cerca de 75% dos custos totais são compostos por pessoal e energia, verifica-se a viabilidade de estudos que visam à otimização de custos nesses setores, por meio da implantação de programas relacionados à adequação das equipes de operação/manutenção, da adoção de medidas operacionais ligadas ao monitoramento constante dos custos das diversas unidades da ETE, do aumento da automatização dos sistemas, da utilização de energia solar através de placas fotovoltaicas e, ainda, da utilização do biogás gerado na própria estação para geração de energia, a fim de se obter uma possível redução de custos de O&M.

## CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Souza, B. M.: Curadoria de Dados, Escrita — Primeira Redação, Investigação. Duarte, M. A. C.: Conceituação, Análise Formal, Metodologia. Tinôco, J. D.: Supervisão, Validação, Visualização.

## REFERÊNCIAS

ANZILAGO, M.; DACIÉ, F.P.; SANTOS, E.A.; ROSA FILHO, C. Evidenciação de custos e despesas ambientais nas empresas do segmento de energia elétrica registradas na BOVESPA e no índice de sustentabilidade empresarial (ISE). *Revista Metropolitana de Sustentabilidade*, v. 7, n. 3, p. 5-24, dez. 2017.

ARAÚJO, A.L.C.; FERRAZ, D.L.M.; CUNHA, P.E.V.; FERNANDES NETO, C.; SILVA, F.J.A. Operational Performance of an Anaerobic-Anoxic-Aerobic Treatment System. *Fronteiras*, v. 6, n. 3, p. 247-263, dez. 2017. <https://doi.org/10.21664/2238-8869.2017v6i3p247-263>

BARROS, I.P.A.F. *Proposta de um sistema de indicadores de desempenho para avaliação de estações de tratamento de esgotos do Distrito Federal*. 210f. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nºs 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, jan. 2007.

BROSTEL, R.C.; NEDER, K.D.; SOUZA, M.A.A. Análise comparativa do desempenho de estações de tratamento de esgotos do Distrito Federal. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL*, 21, 2000. *Anais* [...]. 2000. p. 1-7.

BUONOCORE, E.; MELLINO, S.; ANGELIS, G.; LIU, G.; ULGIATI, S. Life cycle assessment indicators of urban wastewater and sewage sludge treatment. *Ecological Indicators*, v. 94, parte 3, p. 13-23, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.04.047>

CARVALHO, B.E.F.C. *A avaliação de desempenho da prestação de serviços de abastecimento de água independe da perspectiva de, se usuário ou prestador?* 172f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

CASTELLET, L.; MOLINOS-SENANTE, M. Efficiency assessment of wastewater treatment plants: A data envelopment analysis approach integrating technical, economic, and environmental issues. *Journal of Environmental Management*, v. 167, p. 160-166, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.11.037>

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL (CEF). *Saneamento e Infraestrutura*. CEF, 2015.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL (CEF). Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil. *Encargos sociais* CEF, 2017.

COROMINAS, L.; FOLEY, J.; GUEST, J.S.; HOSPIDO, A.; LARSEN, H.F.; MORERA, S.; SHAW, A. Life cycle assessment applied to wastewater treatment: State of the art. *Water Research*, v. 47, n. 15, p. 5480-5492, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.06.049>

DERESZEWSKA, A.; CYTAWA, S. Sustainability considerations in the operation of wastewater treatment plant "Swarzewo". In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE SUSTAINABLE ENERGY AND ENVIRONMENT DEVELOPMENT, 1., 2016. *E3S Web of Conferences*, v. 10, p. 1-6, jan. 2016. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20161000014>

FANG, L.L.; VALVERDE-PÉREZ, B.; DAMGAARD, A.; PLÓSZ, B.G.; RYGAARD, M. Life cycle assessment as development and decision support tool for wastewater resource recovery technology. *Water Research*, v. 88, p. 538-549, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.10.016>

FERRAZ, D.L.M. *Eficiência de uma ETE em escala real composta por reator UASB seguido de lodo ativado*. 78f. Dissertação (Mestrado) – Programa da Pós-Graduação em Engenharia Sanitária, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

FREITAS, N.C.; PESSOA, M.N.M.; SANTOS, S.M.; CABRAL, A.C.A.; NASCIMENTO, D.C. Proposta de um sistema de apuração de custos para empresas de saneamento: um estudo de caso na companhia de água e esgoto do Ceará - Cagece. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, 16., 2009, Fortaleza. *Anais eletrônicos* [...]. Fortaleza: Congresso Brasileiro de Custos, 2009. Disponível em: <https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/issue/view/5>. Acesso em: 10 fev. 2019.

GARRIDO-BASERBA, M.; VINARDELL, S.; MOLINOS-SENANTE, M.; ROSSO, D.; POCH, M. The economics of wastewater treatment decentralization: A techno-economic evaluation. *Environmental Science & Technology*, v. 52, n. 15, p. 8965-8976, 2018. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b01623>

GOMES, H.P. *Sistemas de Abastecimento de Água: Dimensionamento Econômico e Operação de Redes e Elevatórias*. 3. ed. João Pessoa: Editora Universitária UFPB, 2009.

GUDE, V.G. Energy and water autarky of wastewater treatment and power generation systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 45, p. 52-68, jan. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.01.055>

HERNÁNDEZ-SANCHO, F.; MOLINOS-SENANTE, M.; SALA-GARRIDO, S. Cost modelling for wastewater treatment processes. *Desalination*, v. 268, n. 1-3, p. 1-5, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.09.042>

JORDÃO, E.P. Eficiência energética em tratamento de esgotos. *Revista DAE*, n. 177, p. 15-19, maio 2008. <https://doi.org/10.4322/dae.2014.014>

JORDÃO, E.P. É possível economizar energia nas estações de tratamento de esgoto? *Revista DAE*, v. 63, n. 200, p. 6-12, 2015. <https://doi.org/10.4322/dae.2015.001>

LEONETI, A.B.; OLIVEIRA, S.V.W.B.; PIRES, E.C. Método baseado em indicadores de sustentabilidade para escolha de estações de tratamento de esgoto. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, n. 30, p. 56-67, dez. 2013.

LONG, S.; LONG, S.; ZHAO, L.; LIU, H.; LI, J.; ZHOU, X.; LIU, Y.; QIAO, Z.; ZHAO, Y.; YANG, Y. A Monte Carlo-based integrated model to optimize the cost and pollution reduction in wastewater treatment processes in a typical comprehensive industrial park in China. *Science of the Total Environment*, v. 647, p. 1-10, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.358>

LU, B.; DU, X.; HUANG, S. The economic and environmental implications of wastewater management policy in China: From the LCA perspective. *Journal of Cleaner Production*, v. 142, parte 4, p. 3544-3557, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.113>

MENESES, M.; CONCEPCIÓN, H.; VRECKO, D.; VILANOVA, R. Life cycle assessment as an environmental evaluation tool for control strategies in wastewater treatment plants. *Journal of Cleaner Production*, v. 107, p. 653-661, jun. 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.057>

PIAO, W.; KIM, Y.; KIM, H.; KIM, M.; KIM, C. Life cycle assessment and economic efficiency analysis of integrated management of wastewater treatment plants. *Journal of Cleaner Production*, v. 113, p. 325-337, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.012>

REVOLLAR, S.; VEGA, P.; VILANOVA, R.; FRANCISCO, M. Optimal control of wastewater treatment plants using economic-oriented model predictive dynamic strategies. *Applied Sciences*, v. 7, n. 8, p. 813, 2017. <https://doi.org/10.3390/app7080813>

ROEFS, I.; MEULMAN, B.; VREEBURG, J.H.G.; SPILLER, M. Centralised, decentralised or hybrid sanitation systems? Economic evaluation under urban development uncertainty and phased expansion. *Water Research*, v. 109, p. 274-286, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.11.051>

RUIZ-ROSA, I.; GARCÍA-RODRÍGUEZ, F.J.; MENDOZA-JIMÉNEZ, J. Development and application of a cost management model for wastewater treatment and reuse processes. *Journal of Cleaner Production*, v. 113, p. 299-310, jan. 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.044>

SAMPAIO, A.O.; GONÇALVES, M.C. Custos operacionais de estações de tratamento de esgoto por lodos ativados: Estudo de caso ETE - Barueri. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20., 1999, Rio de Janeiro. *Anais* [...]. 1999, p. 676-685.

SANDRIN, C.C.; MARTINS, R.; ROCHA, C.L.; SANDRIN, C.C.; NARZETTI, D.A. Metodologia para avaliação de indicadores de desempenho de prestadores de serviços. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE REGULAÇÃO, 9., 2015, Brasília. *Anais eletrônicos* [...]. Brasília: EXPOABAR, 2015.

SILVA, V.M. *Sistemas urbanos de água e esgotos: Sistemas de abastecimento de água*. Natal: UFRN, 2008.

SU, X.; CHIANG, P.; PAN, S.; CHEN, G.; TAO, Y.; WU, G.; WANG, F.; CAO, W. Systematic approach to evaluating environmental and ecological technologies for wastewater treatment. *Chemosphere*, v. 218, p. 778-792, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.11.108>

SWEETAPPLE, C.; FU, G.; FARMANI, R.; BUTLER, D. Exploring wastewater system performance under future threats: Does enhancing resilience increase sustainability? *Water Research*, v. 149, p. 448-459, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.11.025>

TRENNEPOHL, F.G.; SOARES, A.S.; KOSSATZ, B. Levantamento dos custos de operação e manutenção (O&M) de ETA da região metropolitana de Florianópolis/SC. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27, 2017, São Paulo. *Anais eletrônicos* [...]. São Paulo: ABES/FENASAN, 2017. Disponível em: [http://www.evolvedoc.com.br/aesabesp/detalhes-2149\\_levantamento-dos-custos-de-operacao-e-manutencao-om-de-eta-da-regiao-metropolitana-de-florianoplissc](http://www.evolvedoc.com.br/aesabesp/detalhes-2149_levantamento-dos-custos-de-operacao-e-manutencao-om-de-eta-da-regiao-metropolitana-de-florianoplissc). Acesso em: 10 fev. 2019.

VON SPERLING, M. *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 3. ed. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 2005.

VON SPERLING, T.L.; VON SPERLING, M. Proposição de um sistema de indicadores de desempenho para avaliação da qualidade dos serviços de esgotamento sanitário. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 18, n. 4, p. 313-322, dez. 2013. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522013000400003>

