

V-114 - ANÁLISE DOS CUSTOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DE BALNEÁRIO CAMBORIÚ-SC

Caio Cardinali Rebouças ⁽¹⁾

Bacharel em Química pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Especialista em Engenharia de Produção, Processo e Qualidade pela Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI). Mestre em Química pela Universidade Federal do Paraná (UFPR).

Marta Eliane Doumer ⁽¹⁾

Bacharel em Química Ambiental pela Universidade Católica de Pelotas (UCPEL). Licenciada em Química pela Universidade do Oeste do Paraná (UNOPAR). Mestre em Ciências do Solo pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Doutora em Química pela Universidade Federal do Paraná (UFPR).

Tânia Denise Pedrelli ⁽¹⁾

Engenheira Química pela Fundação Universidade de Blumenau (FURB). Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Endereço⁽¹⁾: Quarta Avenida, 250 - Centro – Balneário Camboriú - SC - CEP: 88330-104 - Brasil - Tel: (47) 32610070 - e-mail: caio.cardinali@emasa.com.br

RESUMO

Os altos custos operacionais e de manutenção figuram um entrave na implantação de estações de tratamento de esgotos (ETE), em especial no que tange a processos aeróbios em lodos ativados. Para tanto, o levantamento do custo operacional, de ETE's de grande porte ($Q \geq 300$ L/s) e de elevada eficiência na remoção de matéria orgânica, pode auxiliar no planejamento estratégico de autarquias/empresas que estão em busca de tecnologias para o saneamento municipal/regional. Por outro lado, programas de mapeamento de custo podem dar embasamento à correta política de tarifação, bem como possibilitam ações para redução de custos internos. Dessa forma, as principais despesas da planta operacional devem ser elencadas, as quais figuram como mão-de-obra, seja via admissão direta ou terceirizada, manutenção, transporte de lodo, energia elétrica, produtos químicos e serviços (aluguel de equipamentos/veículos) entre outras. O presente trabalho engloba o levantamento dos custos operacionais de uma ETE de grande porte, com vazão média de 550 L/s, localizada em Balneário Camboriú – SC.

Na análise dos custos, os contratos e informações relacionados às despesas de operação da planta da ETE foram computados. O item que mais impacta na receita se refere aos gastos com a folha de pagamento, incluindo-se a mão-de-obra direta e rateio de pessoal de apoio, o qual representa 33 % do total de custos da ETE. Como próximo item neste *ranking*, a energia elétrica figura 22 % das despesas, gasto relativo essencialmente ao processo de difusão de ar na lagoa aerada. A seguir, o item transporte de lodo ocupa o terceiro lugar, despontando com 18 % dos custos relativos. De posse dos apontamentos com os principais custos, medidas corretivas estão sendo tomadas, essencialmente no melhor aproveitamento da mão-de-obra, na redução de custos com energia elétrica. Dentro destas ações, estão sendo estudadas alternativas para a redução do volume de lodo.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de Esgoto, Custos Operacionais, Lodos Ativados, Transporte de Lodo, Prensa Parafuso.

INTRODUÇÃO

O percentual de cobertura de esgotamento sanitário vem crescendo nos últimos anos no Brasil. De acordo com o diagnóstico realizado em 2016 pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), estima-se que 79,4% da população seja atendida quanto à coleta de esgotos. Entretanto, somente 44,9% seguem para o tratamento (BRASIL, 2018). Esse diagnóstico mostra que embora grande parte do esgoto seja coletado, menos da metade passa pelo tratamento.

A viabilização de estações de tratamentos de esgoto esbarra no seu custo de instalação e posterior manutenção. As despesas operacionais figuram a parcela mais significativa (~70%) do ciclo de vida de uma estação de

tratamento de esgoto (ETE) (MENEGAZZO, 2016). Entretanto, são escassos os estudos que englobam um detalhamento dos custos operacionais relativos, ou seja, de insumos e de processos/operações (MENEGAZZO, 2016; SAMPAIO & GONÇALVES, 1999).

O consumo energético é um dos mais onerosos, representando em torno de 20% dos custos de operação (SAMPALIO & GONÇALVES, 1999). Em 2016, as despesas com energia elétrica dos prestadores de serviço de saneamento atingiram o patamar de R\$ 5,41 bilhões (Brasil, 2018). Esse valor pode representar até 2,5 % do consumo energético nacional. O requerimento por energia elétrica se concentra na aeração prolongada de lodos ativados, da fase biológica, podendo chegar a mais de 50% do gasto energético de uma ETE (JORDÃO, 2008). O tratamento do lodo biológico de uma ETE aeróbia envolve etapas como adensamento, estabilização, condicionamento, desidratação e disposição final. As despesas destes processos podem atingir até 50% dos custos de operação ETE (KHIARI et al, 2004). Somente o transporte do lodo para destinação final responde por em torno de 5% dos custos operacionais (SAMPALIO & GONÇALVES, 1999).

A parcela de pessoal é bastante representativa frente às despesas operacionais de uma planta. Dentro desta perspectiva estes custos podem atingir 40% do montante (SAMPALIO & GONÇALVES, 1999) e 10%, se analisarmos os custos totais de instalação e operação (MENEGAZZO, 2016;). Este item abrange salários, encargos sociais e benefícios como: comissão, adicional de insalubridade, adicional noturno, horas extras, abono de férias e vale-alimentação.

Neste contexto, o presente trabalho objetiva elencar os custos relativos à operação e manutenção de uma ETE de grande porte ($Q \geq 300$ vazão máxima L/s), que opera com sistema de tratamento por lodos ativados e, finalmente, estimar o custo por m^3 de esgoto tratado.

MATERIAIS E MÉTODOS

A estação de tratamento de esgoto Nova Esperança está localizada em Balneário Camboriú-SC, no Bairro Nova Esperança, e foi construída para coletar e tratar o esgoto doméstico de uma população de 270.840,00 habitantes, considerando uma população flutuante aliada ao turismo da região. A ETE foi projetada para apresentar um fluxo de oxigênio de 16.141 m^3 /dia. O custo do investimento inicial do projeto consta de 25 milhões, iniciado o comissionamento em 2012. O esquema básico da disposição das diversas unidades e componentes do tratamento é apresentado na Figura 1.

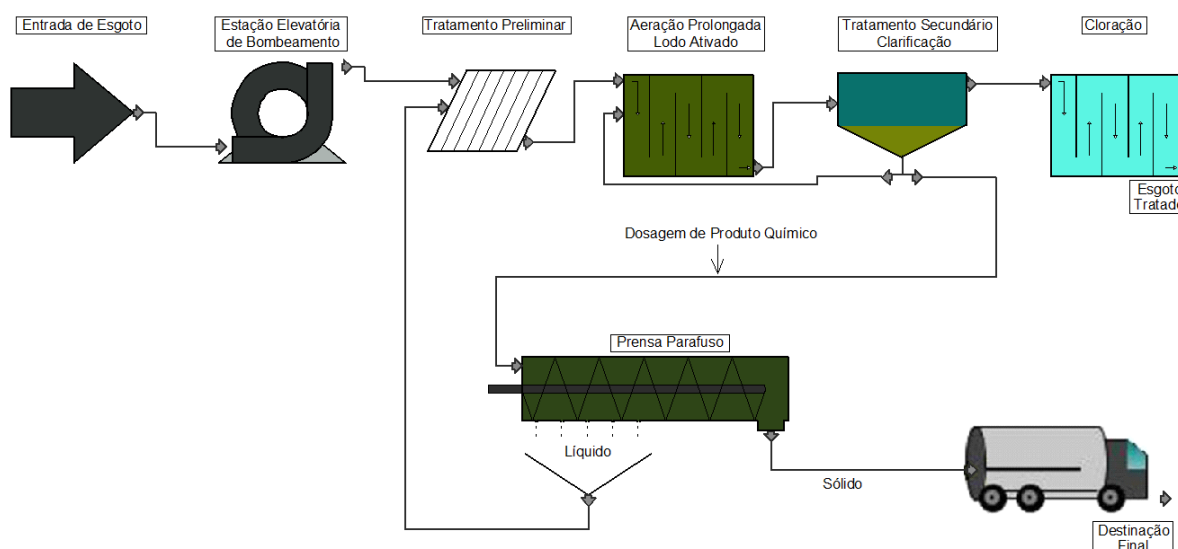


Figura 1: Fluxograma da ETE Nova Esperança.

Breve descrição do sistema de operação:

A estação dispõe da seguinte estrutura: tratamento preliminar, tanque de aeração (lodo ativado por aeração prolongada); casa de sopradores, decantadores circulares, estação elevatória de reciclo de lodo, estação elevatória de descarte de lodo e unidade de gerenciamento de lodo por deságue com prensa parafuso e tanque de contato para desinfecção.

A ETE apresenta vazão média de 550L/s, e vazão de pico de 760 L/s. O sistema preliminar dispõe de dois canais com gradeamento mecanizado autolimpante para remoção de sólidos grosseiros com inclinação de 60 graus e abertura mínima de 6 mm. A jusante do gradeamento, são utilizados dois desarenadores do tipo caixa de areia de tanque quadrado. A seguir o esgoto é encaminhado para o reator biológico, o qual está equipado com cadeias flutuantes que se estendem sobre o tanque.

O fornecimento de ar é realizado, de forma automática, por malha de difusores. A geração de ar é efetuada por cinco sopradores, equipados com bloco compressor rotativo da Kaeser® com perfil Omega. Após o tratamento biológico, o efluente é dividido em dois decantadores circulares com extração por sucção hidráulica do lodo depositado.

O lodo biológico é recirculado por conjunto elevatório, formado por quatro moto-bombas. O lodo em excesso é enviado para deságue por prensa parafuso. O condicionamento químico é efetuado mediante a adição de quantidades controladas de polímero (poliacrilamida). O lodo desidratado é transportado, por caminhões, para aterro sanitário. As principais análises de rotina, para monitoramento do sistema, são realizadas em laboratório próprio.

Na planta, o objetivo é remover grande parte dos poluentes, principalmente DBO₅ (demanda bioquímica de oxigênio), DQO (demanda química de oxigênio), SST (sólidos suspensos totais), nitrogênio e fósforo. A tabela 1 apresenta a perspectiva de projeto para remoção destes poluentes a partir do esgoto bruto.

Tabela 1: Parâmetros previstos em projeto para operação da planta da ETE.

Parâmetros (mg/L)	Valores de projeto		
	Esgoto bruto	Tratado	% (teórica)
DBO ₅	373	≤ 20	95
DQO	753	N.A.	N.A.
SST	401	≤ 30	93
N total	63	≤ 12	81
P total	9,3	≤ 8	14
Taxa de fluxo de O ₂ (m ³ /dia)	16.141		

A eficiência de remoção aproximada alcançada para DBO₅, DQO, SST, N Total, P Total é em média: 95%, 92%, 84%, 83% e 54% respectivamente (Tabela 2). Os processos são destinados para remoção de nitrogênio, carbono e fósforo, apresentando padrões adequados de acordo com as agências de regulação, sendo por tanto efetivo.

Tabela 2: Eficiência de remoção e concentrações influente-efluente (valores médios para o período entre janeiro e dezembro de 2018).

Parâmetro	Influente (mg/L)	Efluente (mg/L)	Eficiência de Remoção (%)
DBO ₅	320	16	95
DQO	462	39	92
SST	190	29,6	84
N total	37	6,3	83
P total	8,5	3,9	54

O estudo avaliou o custo operacional mensal (no período compreendido entre setembro de 2017 a setembro de 2018) de serviços e materiais, considerando o que foi efetivamente executado/utilizado na operação e manutenção da planta, não estando embasado no pagamento das faturas incidentes, isto é, as quais englobam a previsão de estoque. Os custos operacionais da ETE-Balneário Camboriú foram subdivididos nos seguintes itens: pessoal, serviços, energia elétrica; materiais de tratamento, e materiais. O item serviços se subdivide em: manutenção, transporte do lodo, limpeza, vigilância e portaria, interne e aluguel de máquinas de xerox. A fração de produtos químicos utilizados no processo, constam de cloro na forma de gás e o polímero aglutinante utilizando no processo de adensamento de lodo. Os custos foram calculados de maneira a representar um percentual do custo relativo do total da planta.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 1 apresenta uma síntese dos custos de operação e manutenção da ETE. O custo médio mensal estimado para a operação da ETE, do município de Balneário Camboriú, foi de R\$ 891.945,53. No intervalo analisado a vazão média de entrada de esgoto foi de 0,55 m³/s e o custo médio por metro cúbico foi estimado em R\$ 0,76. Hoje a empresa realiza a cobrança do tratamento de esgoto com valor estimado de 80% sobre o valor gasto de água (R\$ 1,96/m³). Vale ressaltar ainda, que os custos estimados neste trabalho, não contabilizam o sistema de coleta do esgoto.

Tabela 3. Relação de custos relativo à operação e manutenção da ETE.

DESCRIÇÃO CUSTO MÉDIO	R\$ / MÊS	% DO ITEM
1. Pessoal	R\$ 296.394,10	33
3. Energia Elétrica	R\$ 198.384,83	22
4. Manutenção	R\$ 70.830,00	8
5. Transporte do lodo	R\$ 163.175,48	18
6. Serviços		7
6.1. Limpeza	R\$ 6.250,00	
6.2. Vigilância e portaria	R\$ 35.988,72	
6.3. Internet	R\$ 1.318,00	
6.4. Aluguel de máquinas xerox	R\$ 592,76	
6.5. Aluguel de geradores	R\$ 12.376,00	
6.6. Materiais e peças para geradores	R\$ 5.446,13	
6.7. Aluguel de carro	R\$ 1.000,00	
7. Produtos Químicos		6
7.1. Gás Cloro	R\$ 28.800,00	
7.2. Polímero	R\$ 20.353,51	
8. Materiais		6
8.1. Laboratório	R\$ 42.500,00	
8.2. Outros Materiais	R\$ 1.000,00	
8.3. Combustíveis e Lubrificantes	R\$ 7.536,00	
TOTAL (mensal)	R\$ 891.945,53	100
Volume de esgoto tratado (m ³ /mês)	1.166.400,00	
Custo por metro cúbico (R\$/m ³)	0,76	

A maior despesa hoje, da ETE, encontra-se no item pessoal. Este trabalho preliminar tratou dos custos relacionado à pagamento de salários de operadores, equipe técnica e rateio de pessoal de apoio.

A figura 1 apresenta a composição dos principais custos de operação e manutenção. Durante o período analisados, o gasto com pessoal soma de 33% do total de custeio mensal da planta, R\$296.394,10.

A ETE do município de Balneário Camboriú é automatizada, exigindo do operador apenas monitoramento e execução de análises de rotina. No entanto, a operação hoje conta com dezesseis operadores, quatro por turno. Este número pode ser reduzido para um operador permanente e outro necessários para suprir as demandas de férias e folgas. Partindo da premissa de que os funcionários são admitidos via concurso, os mesmos não podem ser demitidos, devendo desta forma ser realocados. Esta medida será benéfica para a redução da mão-de-obra terceirizada empregada em outras atividades fim.

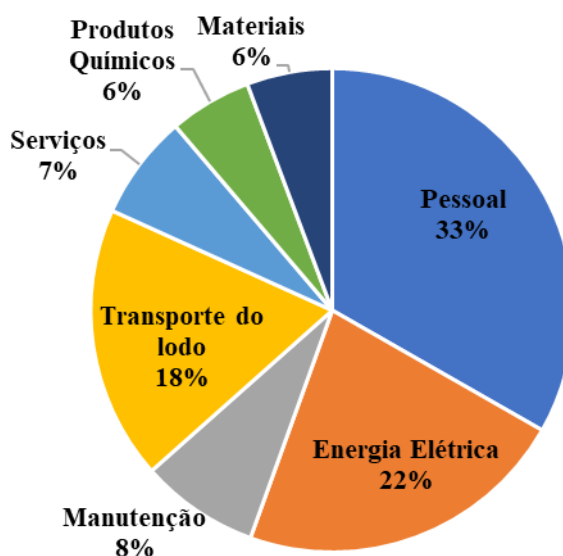


Figura 2. Distribuição percentual dos custos de operação e manutenção da ETE.

O levantamento feito aponta que a energia elétrica (Figura 1) representa grande parte dos gastos mensais da estação, com 22% do total, e consta de R\$198.384,83.

De acordo com o delineamento do projeto da ETE Nova Esperança, os sopradores responsáveis pela difusão de ar comprimido no tanque de aeração do esgoto bruto, representam de 80 a 85% do consumo total do sistema operacional. Isto está de acordo com KHIARI et al. (2004), que estima que em ETEs operando com lodo ativados, os gastos com energia ultrapassam os 50% das despesas mensais. Através do consumo total de energia e o fluxo de esgoto bruto, foi estimado um gasto médio de 0,27 kWh por m³ do efluente (Tabela 4). Este consumo é relativamente mais eficiente se comparado à dados encontrados na literatura (0,41 kWh/m³) (TÜRKMENLER H. & ASLAN, 2017), para sistemas em condições semelhantes. Entretanto, percebe-se que para alguns meses, como por exemplo em julho, o consumo energético não foi equivalente. Esta constatação pode estar ligado a dois fatores: problemas relativos à manutenção dos difusores de ar, e a consequente perda de fluxo de ar, e as flutuações diária das vazões afluentes, sem a correta adequação de suprimento de oxigênio ao tanque de aeração para atendimento da demanda.

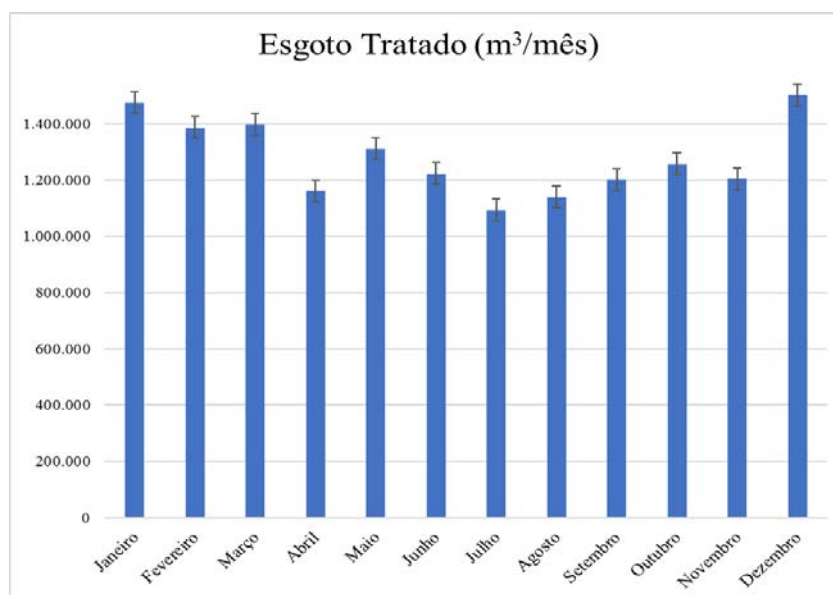


Figura 3: Total de efluente tratado (m³/mês) pela planta da ETE Nova Esperança, no ano de 2018 (janeiro à dezembro).

Embora a planta conte com a maioria dos processos automatizados, ainda não se tem um controle automático da concentração de oxigênio no tanque de aeração. Além disso a sonda de oxigênio dissolvido (OD), realiza medição em apenas um ponto do sistema. Pode-se identificar, portanto, uma oportunidade de melhoria com a instalação de dispositivo que permita a automação do processo através da comunicação da sonda de oxigênio dissolvido, via CLP, com os inversores de frequência dos sopradores, de modo a otimizar a aeração por meio do estabelecimento de *set-point* para a concentração de oxigênio dissolvido no tanque de aeração. Contudo, como medida de caráter operacional, adotou-se de imediato o procedimento de redução de forma gradual da aeração durante à madrugada, no período entre 1:00h às 4:00h, conforme queda da vazão de entrada de esgoto.

Tabela 4. Comparação entre esgoto tratado e consumo de energia (período de janeiro á dezembro de 2018).

Mês	kWh/mês	Esgoto tratado (m³/mês)	kWh/m³
Janeiro	373.372	1.475.798	0,25
Fevereiro	343.639	1.386.202	0,25
Março	364.974	1.398.125	0,26
Abril	335.094	1.161.216	0,29
Maio	329.591	1.312.416	0,25
Junho	318.039	1.223.424	0,26
Julho	332.026	1.093.151	0,30
Agosto	333.676	1.139.558	0,29
Setembro	326.904	1.201.277	0,27
Outubro	337.524	1.256.821	0,27
Novembro	319.790	1.203.907	0,27
Dezembro	364.426	1.503.239	0,24
Média	339.921	1.279.594	0,27

A recente implantação de uma estação de tratamento de lodo (ETL), trouxe a necessidade de destinação do lodo adensado como resíduo sólido em aterros sanitários. Entretanto, os custos de transporte do lodo desidratado são bastante elevados, R\$163.175,48 mensal, responsável por 18% sobre o montante de gasto total com a planta de operação. Medidas estão sendo tomadas para redução destes custos, como a otimização do processo visando aumentar o percentual de sólidos no lodo desidratado para 20% de sólidos totais (valor atual 13 - 15 %), diminuindo, portanto, a umidade do lodo. Ações complementares encontram-se em andamento, como estudo de viabilidade técnica e financeira da compostagem de lodo, para dessa forma, agregar valor a esse resíduo sólido, na forma de composto orgânico; e/ou a implementação de uma etapa de tratamento térmico visando a redução de volume do lodo a ser destinado a aterro, o que traria impacto imediato nos custos de operação.

No item produtos químicos, foi analisado basicamente o insumo cloro gás, utilizado no processo de desinfecção do efluente e o polímero catiônico, utilizado no condicionamento do lodo durante a desidratação em prensa parafuso. O custo mensal relativo de produtos químicos é de 6%, com despesas durante o período analisado de R\$ 49.153,51. As despesas com materiais de tratamento apresentam bastante otimizadas. Entretanto para o cloro gás, uma operação mais assistida da dosagem deste produto no cloro gás pelo operador poderia melhorar a eficiência de uso.

O item serviços trata da mão-de-obra terceirizada, excetuando-se a manutenção, e aluguel de equipamentos. Para a estimativa, foram considerados os custos com os serviços de vigilância, limpeza, conservação de áreas verdes e serviços de internet e impressão, representando 7% do custeio da planta. Estes serviços possuem contratos específicos e com data limitada.

O item “materiais” refere-se as despesas com kit de laboratório, calibração de equipamentos, reagentes para utilização em análises de rotina, tanto de operação como para o laboratório da ETE, e despesas relacionadas à aquisição de materiais de limpeza e consumíveis da planta de operação.

Durante o período analisado, o custo médio mensal desse item foi de R\$ 43.500,00, correspondendo a apenas 6 % do total. A parcela relativa aos materiais consumidos no laboratório é de R\$ 42.500,00. Uma das ações previstas inclui a automação de algumas determinações analíticas em substituição ao oneroso custo de kits laboratoriais. Essa medida, embora de início onerosa, possui *payback* de no máximo 3(três) anos. Além disso, a automatização destas análises, minimizaria erros laboratoriais e aumentaria a sensibilidade da técnica analítica. Outra técnica que encarece os custos laboratoriais, é a determinação da demanda química de oxigênio. Para reduzir este custo, foi realizada a aquisição de reagentes, com os quais serão montados kits de análises, em substituição dos kits comerciais de alto custo.

CONCLUSÕES

A planta de tratamento de esgoto de Balneário Camboriú, apresentou custo mensal de operação da ETE de R\$ 891.945,53, com custo estimado por metro cúbico de esgoto tratado de R\$ 0,76. Vale ressaltar, que o levantamento de custos operacionais está limitado ao escopo apresentado, devendo para fins de aferição dos custos finais, a inclusão dos custos energéticos (energia elétrica e geradores) e de manutenção das estações elevatórias de esgoto, e dos custos referentes as manutenções de rede de esgoto. Dessa forma, ao cabo do programa de aquisição de dados de custo e otimização do processo, tornando o processo mais eficiente em termos de custos por metro cúbico de esgoto tratado.

Diante dos altos custos de operação, diversos programas estão em andamento. Dentre os programas, há ênfase para medidas que visam minimizar o custo do transporte de lodo, sendo que este item contribui com aproximadamente 18% do custo operacional da planta. Em suma, as medidas de controle buscam formas de agregar valor para o resíduo sólido lodo, ou soluções técnicas para reduzir o percentual de umidade do lodo prensado, que hoje figura em torno de 85% e encarece o custo do transporte.

A otimização do suprimento de oxigênio ao tanque de aeração via automatização e a adequação de pessoal, são ações voltadas para otimizar o consumo de energia e despesas com a folha de pagamento. Essas providências serão benéficas para reduzir custos, uma vez que estes itens somados perfazem mais de 50% das despesas mensais de operação.

Finalmente, fica evidente a importância da gestão de custos de operação e manutenção de uma ETE como forma de contribuir para o melhor atendimento das necessidades de informação dos gestores. Determinar o custo efetivo do esgoto tratado torna possível praticar tarifas mais adequadas, além de evidenciar desperdícios e oportunidades de melhoria nos processos internos visando a melhor alocação do recurso financeiro. Desta forma, propiciando, de maneira indireta, mais recursos para investimento na expansão do sistema de esgotamento sanitário como um todo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Brasil. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2016. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2018. 220 p.
2. JORDÃO, E.P. Eficiência Energética em Tratamento de Esgotos. Revista DAE, SABESP, n. 177, p. 15-19, mai. 2008.
3. KHIARI, B., MARIAS, F., ZAGROUBA, F., VAXELAIRE, J. Analytical study of the pyrolysis process in a wastewater treatment pilot station. Desalination. v. 167, p.39-47, 2004.
4. MENEGAZZO, V. A.. Análise do custo do ciclo de vida de uma estação de tratamento de esgoto. Florianópolis, 2016. Trabalho de conclusão de curso (graduação)-Departamento de Engenharia Civil-Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.
5. 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, 1999, Rio de Janeiro/RJ. Anais ... Rio de Janeiro: ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999, p. 676-685.
6. TÜRKMENLER H. & ASLAN, M. An evaluation of operation and maintenance costs of wastewater treatment plants: Gebze wastewater treatment plant sample. Desalination and water treatment, v. 76, p.382-388, 2017.