

II-015 – ANÁLISE DOS CUSTOS OPERACIONAIS DE 44 ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO

Filipe Nepomuceno Bicalho Santos⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Especialista em Saneamento pela UFMG. Especialista em Gestão de Projetos pela Fundação Dom Cabral. Mestre em Saneamento pela UFMG.

César Rossas Mota Júnior

Doutor em Engenharia Civil e Ambiental pela North Carolina State University (NCSU), Estados Unidos. Professor do Departamento de Engenharia Sanitária, Ambiental e Recursos Hídricos da UFMG - Belo Horizonte (MG), Brasil.

Maria Alice Martins Júdice

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Mestre em Saneamento pela EESC-USP.

Pollyane Diniz Saliba

Engenheira Civil pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Especialista em Saneamento pela FUMEC. Mestre em Saneamento pela UFMG.

Endereço⁽¹⁾: Rua Matipó, 360 / 301 – Santo Antônio – Belo Horizonte – CEP: 30350-210 – Brasil – Tel: (31) 9.9831-2370 – e-mail: filipebja@yahoo.com.br

RESUMO

Foi realizado um estudo comparativo dos custos operacionais de 44 estações de tratamento de esgoto localizadas na região Sudeste do País, sendo os processos de tratamento agrupados em três grupos: Lagoas, UASB, seguidos ou não de pós tratamento, e Sistemas Aerados. A análise foi realizada considerando os custos por m³ de esgoto tratado, sendo verificados, ainda, os custos de pessoal, energia elétrica e transporte de lodo. Foi observada grande diferença entre os custos operacionais, considerando-se o porte das unidades. Com relação aos processos de tratamento, verificou-se que os sistemas de Lagoas tiveram o menor custo operacional relativo.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de esgoto, custos operacionais.

INTRODUÇÃO

De acordo com o Atlas dos Esgotos, publicado pela Agência Nacional de Águas – ANA (BRASIL, 2017), ainda é grande o déficit de tratamento de esgoto no Brasil. Apenas 43% do esgoto doméstico gerado é coletado e tratado e outros 12% da população utilizam solução individual (como exemplo tem-se a fossa séptica), ou seja, somente 55% da população tem manejo de esgoto considerado adequado. No entanto, há esforços para a diminuição deste déficit no país, a partir do uso de recursos para o setor de Saneamento, advindos do Programa de Aceleração do Crescimento – PAC, lançado em 2014 pelo governo federal, com metas de investimento no setor para duas décadas e, também, com a obrigatoriedade de que todas as municipalidades tenham planos municipais de saneamento (BRASIL, 2007). Assim, no planejamento dos novos sistemas de esgotamento a serem implantados, devem ser considerados os princípios de sustentabilidade econômica, ambiental e operacional, incluindo tratamento a baixo custo, simplicidade operacional, aproveitamento e recuperação de subprodutos.

A escolha das tecnologias a serem utilizadas para o tratamento de esgotos domésticos, muitas vezes, é feita avaliando-se unicamente os custos de implantação das unidades, sendo que os custos, a complexidade operacional e as eficiências de remoção ficam relegados ao segundo plano. Em muitos casos, a tecnologia de tratamento a ser empregada é simplesmente determinada por empresas projetistas. Ocorre que, na prática, os custos operacionais das diferentes tecnologias de tratamento são pouco estudados, sendo que a literatura técnica apresenta informações reais bastante limitadas sobre o tema.

Neste contexto, justifica-se a realização do estudo comparativo dos custos operacionais entre as diferentes tecnologias de tratamento de esgotos, objeto do presente trabalho.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os custos operacionais diferem para cada sistema de coleta e tratamento de esgoto em função da conformação da bacia de contribuição, da quantidade de redes e estações elevatórias de esgoto componentes do sistema de coleta e do processo de tratamento, entre outros fatores. Esse trabalho considera apenas a análise dos custos unitários relacionados à etapa de tratamento, incluindo as elevatórias integrantes dos processos e localizadas nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs). Não foram considerados os custos de coleta, recalque de esgoto de elevatórias componentes do sistema de coleta (fora das ETEs), a manutenção das redes coletoras e interceptores e os custos administrativos.

Foram obtidos os volumes de esgoto tratado e os custos operacionais mensais relativos ao ano de 2016, para a operação de 44 estações de tratamento de esgoto de um único prestador de serviços da região Sudeste do Brasil, sendo esses custos provenientes da soma de diferentes classes de despesas: energia elétrica, pessoal; gestão do lodo; e os demais gastos, que correspondem aos custos com água; vigilância; serviços de manutenção e conservação; materiais de consumo e manutenção; ordens de manutenção; e outros.

A partir da divisão do custo total anual de cada classe de despesa pelo volume total tratado durante o ano, foi calculado o custo por metro cúbico (m³) de esgoto tratado por classe de despesa. A soma das despesas de todos os itens, dividida pelo volume total tratado, resultou no custo unitário total de cada ETE, que foi utilizado para fins de comparação entre as unidades. Todos os dados foram atualizados para a data base de Janeiro de 2017.

As ETEs foram agrupadas de acordo com processo de tratamento e de acordo com o equivalente populacional de projeto da ETE, sendo utilizados três portes: < 5.000 habitantes (13 ETEs); entre 5.000 e 50.000 habitantes (20 ETEs); e > 50.000 habitantes (11 ETEs). A Tabela 1 apresenta o número de unidades e o range de vazões de cada processo de tratamento.

Tabela 1: Processos de tratamento e vazões de projeto das ETEs analisadas.

Grupo	Processo de Tratamento	Número de ETEs	Vazão de Projeto (L/s) (menor-maior)
UASB / UASB + Pós Tratamento (30 ETEs)	UASB	6	3-41
	UASB + Disposição no solo	1	1
	UASB + Filtro Anaeróbio	2	5-7
	UASB + Filtro Biológico Percolador	17	1-1.800
	UASB + Flotação	3	10-21
	UASB + Lagoas	1	39
Sistemas Aerados (8 ETEs)	Lodos Ativados com Aeração Prolongada	3	21-126
	Lodos Ativados Convencional	1	3.375
	Lodos Ativados + Remoção de Nutrientes + Remoção de Coliformes	1	140
	Lagoas Facultativas Aeradas	1	110
	UASB + Lodos Ativados	2	98-500
Sistemas de Lagoas (4 ETEs)	Lagoas Anaeróbias + Lagoas Facultativas	1	39
	Lagoa Facultativa	2	8-19
	Lagoas Facultativa + Lagoa de Maturação	1	8
Outros (2 ETEs)	Fossa Filtro	2	4-6

RESULTADOS

A Tabela 2 apresenta um resumo dos custos operacionais encontrados, em R\$/m³ de esgoto tratado, agrupados por processo e por porte.

Tabela 2: Custos operacionais por processo e porte das estações. R\$/m³ (data base, jan/2017).

Agrupamento	Número de ETEs	Média	Desvio Padrão	Mediana	Mínimo	Máximo
GERAL	44	1,28	1,06	0,96	0,13	4,67
Lagoas	4	0,39	0,06	0,40	0,32	0,46
Sistemas Aerados	8	0,75	0,45	0,67	0,17	1,43
UASB/UASB+Pós	30	1,55	1,16	1,28	0,13	4,67
Outros	2	1,18	0,10	1,18	1,11	1,26
<5.000 (pequeno porte)	13	2,18	1,27	1,95	0,43	4,67
Entre 5.000 e 50.000 (porte intermediário)	20	1,04	0,77	0,76	0,32	3,26
>50.000 (grande porte)	11	0,67	0,43	0,61	0,13	1,43
< 5.000 - UASB/UASB+Pós	10	2,55	1,19	2,25	1,12	4,67
< 5.000 - Outros	2	1,18	0,10	1,18	1,11	1,26
< 5.000 - Lagoas	1	0,43	-	0,43	0,43	0,43
Intermediário - Sistemas Aerados	1	0,73	-	0,73	0,73	0,73
Intermediário - Lagoas	3	0,38	0,07	0,37	0,32	0,46
Intermediário - UASB/UASB+Pós	16	1,18	0,79	0,93	0,33	3,26
> 50.000 - Sistemas Aerados	7	0,75	0,49	0,61	0,17	1,43
> 50.000 - UASB/UASB+Pós	4	0,53	0,33	0,55	0,13	0,91

Com base nas medianas, comparando-se os processos de tratamento, o Grupo “Lagoas” obteve o menor custo de operação por metro cúbico tratado, o que pode ser explicado pela simplicidade operacional do processo. Já na comparação pelo equivalente populacional, o menor custo operacional foi das ETEs com atendimento a populações acima de 50.000 habitantes. Neste caso, apesar da maior complexidade operacional das unidades e do maior contingente de pessoal empregado, o grande volume tratado dilui os gastos, tornando o custo unitário menor, sendo mais de 3 vezes inferior do que o custo das ETEs de menor porte, que apresentaram os maiores custos operacionais. Esse resultado é compatível ao encontrado por Fraas e Munley (1984), Muga e Mihelcic (2008) e Noyola et al. (2012), que verificaram que o custo operacional por m³ é maior nas ETEs de menor porte. Esta análise permite vislumbrar vantagens na centralização do tratamento de esgotos durante a concepção ou otimização dos sistemas de esgotamento sanitário de cada bacia/município, mediante estudos comparativos de viabilidade de implantação de sistemas de coleta, interceptação, bombeamento e tratamento de esgotos. Vale destacar ainda que, para a centralização do tratamento dos esgotos, faz-se necessária a análise da capacidade de autodepuração do corpo receptor para uma vazão maior de efluente tratado. Outro ponto a ser observado, é que, para as ETEs de menor porte, é mais difícil otimizar as despesas com pessoal, uma vez que é necessária uma equipe mínima de funcionários para a operação das unidades. Um outro ponto de vista é oferecido por Massoud, Tarhini e Nasr (2009), que afirmam que a centralização/concentração do tratamento de esgotos é onerosa tanto para a implantação quanto para a operação, devido aos altos custos na implantação dos sistemas de coleta. Esses autores defendem que a efetividade dos sistemas descentralizados depende de uma gestão adequada.

Em termos de processo de tratamento, os maiores custos operacionais foram obtidos para as ETEs compostas de reatores UASB seguidos ou não de pós tratamento. Essa análise, porém, deve ser expandida, pois o grupo com equivalente populacional <5.000 habitantes, que também teve o maior custo operacional, é composto, em sua maioria, por estações baseadas nesse processo de tratamento. Ao analisar somente o grupo para populações

acima de 50.000, observa-se que o grupo de Lodos Ativados apresenta custo operacional relativo aproximadamente 12% superior ao do grupo UASB/UASB+Pós.

A Figura 1 apresenta os gastos médios percentuais por classes de despesas nas ETEs, divididos por agrupamentos de processos de tratamento (a) e equivalente populacional (b), respectivamente.

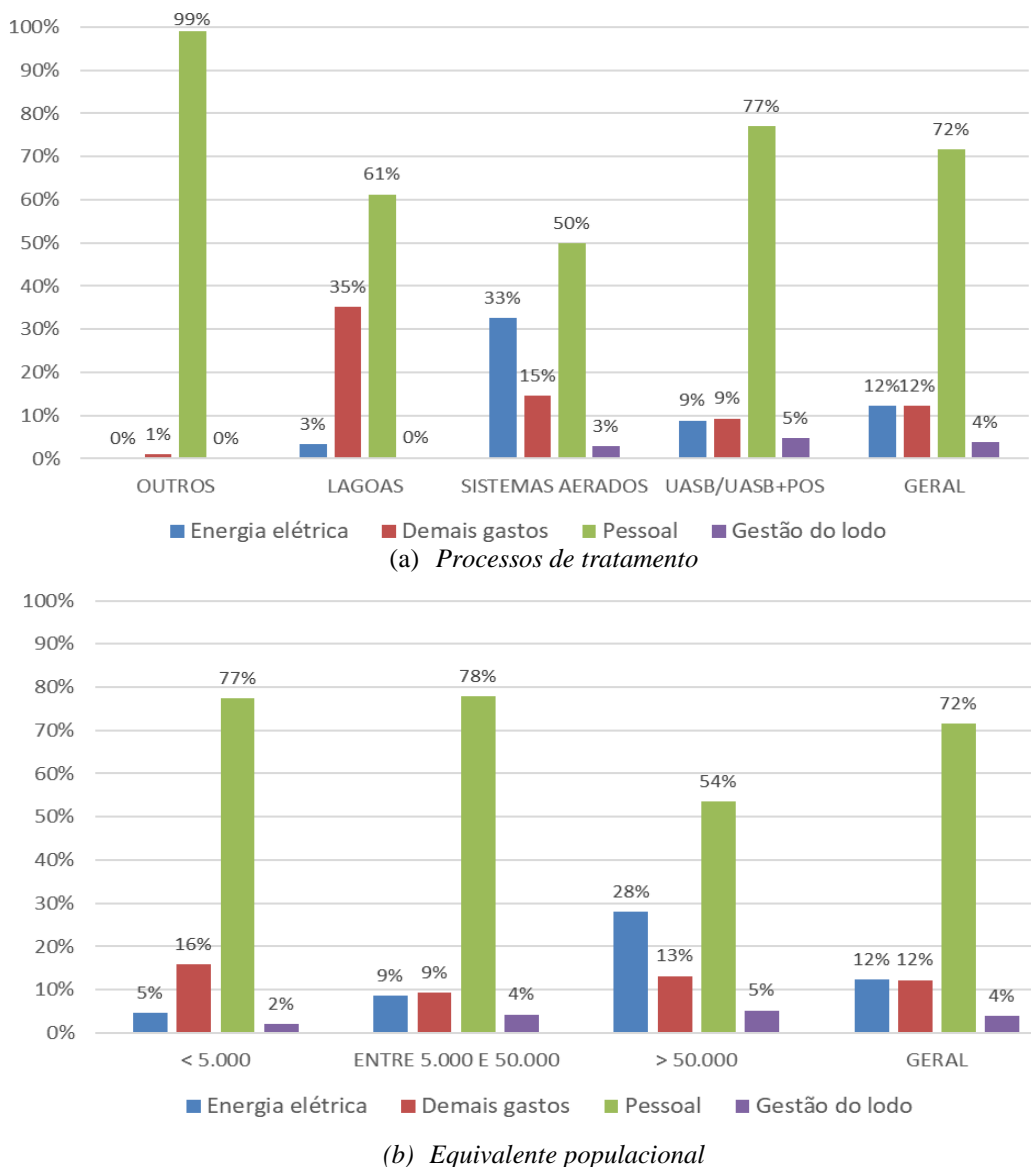


Figura 1: Gastos percentuais médios para as 44 ETEs analisadas, divididas por agrupamento

Pela Figura 1 (a), observa-se que a maior despesa das ETEs foi com “Pessoal” (média geral de 72% / mediana de R\$ 0,73/m³), valor próximo ao encontrado por Brostel, Neder e Souza (2001), de 75% e ao valor de 63%, encontrado no último diagnóstico do Sistema Nacional de Informações de Saneamento – SNIS, em 2014 (BRASIL, 2016), em despesas com pessoal nas empresas de saneamento participantes; porém, bastante superior ao valor encontrado por Von Sperling (2016) (27%) e Trennepohl (2016) (26%). Este parâmetro, inclusive, representa quase a totalidade dos gastos com tratamento de esgoto em algumas ETEs. Porém, ao contrário do que foi verificado por Kerstens, Leusbrock e Zeeman (2015), o custo percentual com mão de obra nos sistemas mais complexos (aerados) diminuiu em relação aos sistemas mais simples (Lagoas e sistemas com reatores UASB). As despesas com pessoal se tornam menores relativamente devido ao maior peso das despesas com energia elétrica. Para as ETEs de maior porte, os gastos com “Pessoal” encontrados (54% / R\$ 0,34/m³)

foram maiores do que alguns valores encontrados da literatura, Sampaio e Gonçalves (1999) (41%); Rodriguez-Garcia et al (2011) (35%); e Trennepohl (2016) (26%).

No subgrupo Lagoas, chama atenção a representatividade dos “Demais gastos”, que alcançam cerca de 35% do custo total. Esses gastos podem ser explicados pela utilização de serviços de vigilância, necessários em algumas estações que apresentam incidência recorrente de vandalismo. Quanto à “Gestão de Lodo”, em 2016 não houve remoção de lodo de lagoas, não resultando em despesas com gestão do lodo.

Nota-se que a média de gastos com a “Gestão do Lodo” foi pouco representativa em todos os grupos e, diferente do esperado, foi maior para as ETEs com reatores UASB. Todavia, a diferença é relativamente pequena (5% UASB/UASB+Pós contra 3% para as ETEs com Lodos Ativados). Uma das razões para se explicar essa diferença é o fato de que todo o lodo gerado nas ETEs, após desidratação, seja em leitos de secagem, seja em centrífugas, tem a destinação final para aterros sanitários de outras empresas. Assim, os gastos com transporte de lodo estão intimamente ligados à distância de transporte até a destinação final, sendo que as ETEs com Lodos Ativados analisadas, estão, em geral, mais próximas ao local de destinação final do lodo. Cabe destacar que, para uma análise mais precisa do assunto, seria necessário entender a logística de transporte existente, relacionando-se as ETEs cujo lodo é levado para outras, quanto é gasto nesse transporte, além das distâncias de cada uma até o aterro sanitário. Cumpre observar ainda, que, neste item, não está contabilizada a energia elétrica consumida pelas centrífugas nem os produtos químicos utilizados na desidratação de lodo, nas estações que se utilizam de tais processos. Esses custos são contabilizados em energia elétrica e em outros custos.

Nos sistemas aerados, conforme esperado, as despesas com “Energia Elétrica” foram bastante representativas no montante total (33% na média geral). As despesas com energia nos sistemas de reatores UASB seguidos ou não de pós tratamento, que atingiram 9% do total, são devidas às elevatórias de processo (retorno de lodo, recirculação e de elevação do afluente até o nível dos reatores UASB) e, também, ao uso de centrífugas para desidratação do lodo, presentes em algumas unidades. A média das despesas com energia das ETEs com sistemas de Lodos Ativados após o UASB foi ligeiramente inferior (31% contra 33%) à média das despesas dos sistemas aerados. Na média geral, as despesas com energia elétrica (12%) estão próximas às despesas com energia das prestadoras de serviços de saneamento participantes do SNIS 2014 (11%).

Nos sistemas compostos por reatores UASB, seguidos ou não de pós tratamento, não foi evidenciado nenhum gasto preponderante, sendo que há ETEs em que o consumo de energia foi maior (desconsiderando as ETEs compostas por reatores UASB seguidos de sistemas aerados, que obviamente tem um consumo maior de energia) e outras, em que a “Gestão do Lodo” foi a segunda despesa de maior impacto, atrás das despesas com “Pessoal”.

Analisando-se a Figura 1 (b), pode-se perceber similaridades nos custos das ETEs com equivalente populacional menor do que 5.000 habitantes e nas de porte intermediário, entre 5.000 e 50.000 habitantes, sendo que os percentuais das despesas ficaram próximos. Em ambos os grupos, os custos com a “Gestão de Lodo” foram pouco expressivos (< 5%), com diversas estações sem nenhuma despesa com o lodo, o que pode ser explicado pelo fato da destinação do lodo de algumas ETEs de menor porte estar incluída dentro de ETEs maiores. Por outro lado, e de acordo com o verificado por Friedler e Pisanty (2006), nota-se que houve maior estratificação entre classes de despesas operacionais com o aumento da vazão e do nível do tratamento, sendo que nas ETEs maiores (> 50.000 habitantes), a “Gestão do Lodo” teve o maior percentual de todos os agrupamentos (5%), provavelmente pelo maior volume, e as despesas com “Energia Elétrica” atingiram 28%.

Os “Demais Gastos” foram representativos em todos os grupos, sendo os serviços de vigilância, em especial nas ETEs com equivalente populacional inferior a 5.000 localizadas em áreas sujeitas a vandalismo, um dos itens mais impactantes, representando quase um terço dessas despesas. Destaca-se a necessidade dos serviços de vigilância, devido ao risco constante de furtos, sendo que equipamentos eletromecânicos (quadros de comando e controle dos equipamentos; geradores de energia; talhas elétricas; roçadeiras), além de cabos elétricos; celulares e veículos dos operadores e computadores são muito visados. A vigilância tem o intuito, também, de coibir o vandalismo e depredação que ocorre em algumas unidades. As exceções ocorrem nas duas maiores ETEs, que possuem laboratórios centrais para realização de análises, além de demandarem mais manutenção devido à complexidade dos equipamentos e, ainda, serem dotadas de processos mecânicos de

desidratação de lodo, que requerem a adição de polímeros, refletindo em altos custos em “Materiais de Consumo e Manutenção”. Outro fator impactante é o consumo de água, elevado em ETEs dotadas de centrífugas para a desidratação de lodo, ou que utilizam água potável em algum processo.

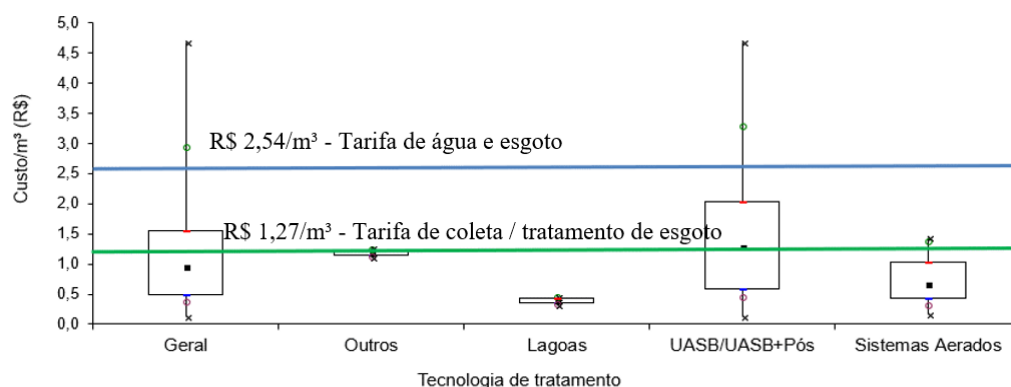
A Figura 2 condensa os custos operacionais por m³ de esgoto tratado nos diferentes grupos. A linha azul representa a tarifa média, de acordo com BRASIL (2016), dos serviços de água e esgoto na região Sudeste, de R\$ 2,54 /m³. A tarifa de esgoto tem o mesmo valor da tarifa de água, abrangendo os serviços de coleta e tratamento, correspondendo a R\$ 1,27/m³ para cada um desses componentes (50% para coleta e 50% para tratamento), sendo representada pela linha verde.

Nota-se que os valores mínimo, máximo e mediana do custo por m³ de esgoto tratado (R\$/m³) são, respectivamente: 0,13; 4,67; e 0,91. Uma vez que a média foi de R\$ 1,26/m³, destaca-se a grande diferença entre a média e mediana, o que mostra que a média foi afetada por valores discrepantes de algumas unidades. A grande variação entre os valores de cada parâmetro e para os custos por m³ pode ser explicada pela grande diferença de vazões entre as ETEs e, também, pelas diferentes tecnologias de tratamento utilizadas, conforme indicado na Figura 2 (a). Também chama a atenção o alto custo do tratamento de esgoto no Brasil, tomando-se por base a tarifa média praticada para custear os serviços de água e esgoto na região sudeste do País (linha azul, R\$ 2,54/m³, conforme relatório do SNIS 2014). Neste valor estão incluídos os serviços de distribuição e tratamento de água e coleta e tratamento de esgoto.

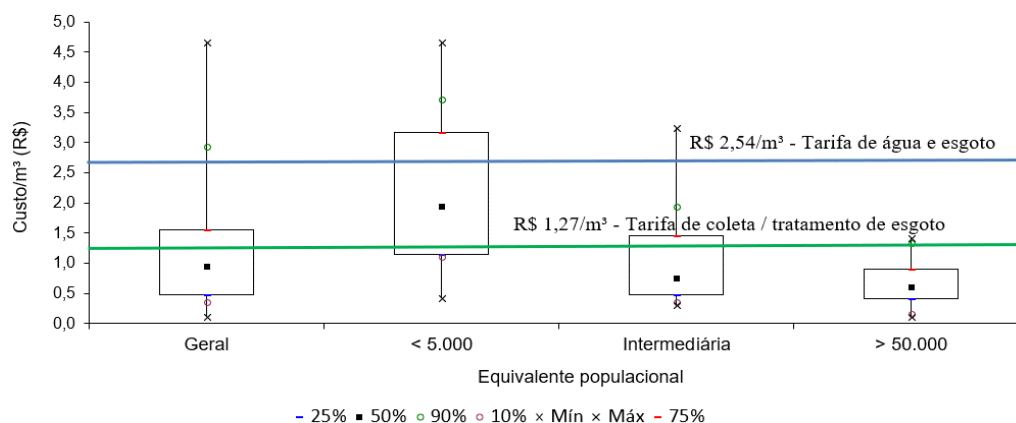
Pela Figura 2 (a) chama a atenção o baixo custo dos sistemas aerados, cujas ETEs são, em sua maioria, do grupo de porte grande, e a grande variação do custo dos sistemas compostos por reatores UASB seguidos ou não de pós tratamento, que tem ETEs em todos os portes, porém, com apenas quatro estações com porte grande e dez estações com equivalente populacional menor do que 5.000 habitantes, grupo que teve os custos por m³ mais elevados. Outro ponto de destaque é a pequena variação dos custos unitários dos sistemas de Lagoas, com três ETEs de porte intermediário e uma ETE de pequeno porte.

A partir da Figura 2 (b), observa-se que, apenas as despesas com tratamento de esgoto em algumas estações, em especial no grupo de ETEs menores, já são superiores ao valor da tarifa cobrada pelos serviços de água e esgoto na região Sudeste, mostrando que alguns sistemas são deficitários e explicitando a dificuldade de viabilizar economicamente o saneamento em cidades menores. A situação se agrava ao se analisar a tarifa referente aos serviços de tratamento de esgoto (linha verde, R\$ 1,27/m³), uma vez que, além da grande maioria das ETEs menores, um percentual das ETEs de porte intermediário tem o custo operacional superior ao valor da tarifa praticada, explicitando um dos vários desafios à universalização do saneamento e mostrando a importância da utilização do subsídio cruzado, no qual os sistemas superavitários ajudam a custear os sistemas deficitários. A título de exemplo, foi realizado o cálculo do custo operacional geral das estações (obtido pela divisão da soma dos custos totais anuais de cada estação pelo volume total tratado pelas 44 ETEs), este sendo R\$ 0,19/m³. Caso este cálculo fosse feito sem as ETEs de maior porte (> 50.000), o custo operacional geral seria de R\$ 0,59/m³, ou seja, mais que o triplo.

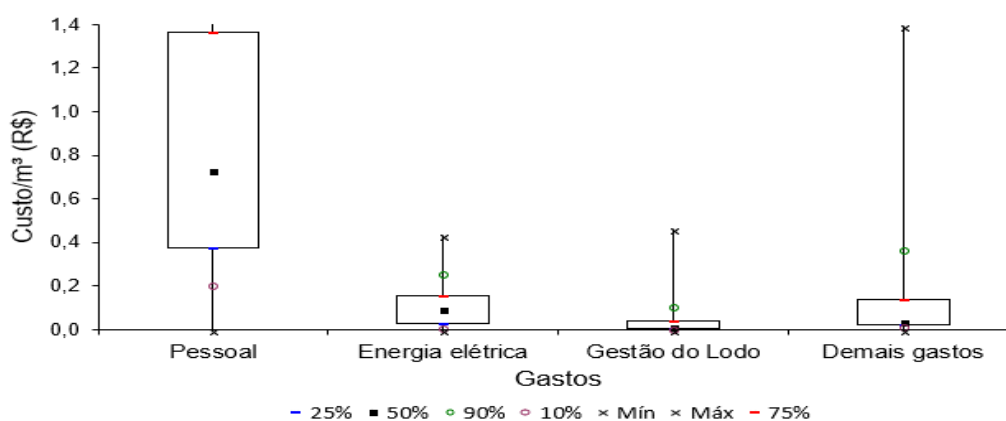
Já a Figura 2 (c) apresenta a variação dos custos unitários das diferentes classes de custo, onde nota-se a grande variação dos gastos com “Pessoal” e distribuição mais homogênea dos percentis de gastos com energia elétrica. Cabe destacar também, os baixos valores com “Gestão de Lodo”, com o percentil 90% estando abaixo dos R\$ 0,20/m³.



(a) Custo por m³ de esgoto tratado – Processos de tratamento



(b) Custo por m³ de esgoto tratado – Equivalente populacional



(c) Custo por m³ de esgoto tratado – Classes de despesas

Figura 2: Variação do custo por m³ de esgoto tratado para as 44 ETEs analisadas.

CONCLUSÕES

A comparação de custos de implantação de processos de tratamento com base nos custos per capita desconsidera o fato de que os processos de tratamento têm diferentes objetivos de tratamento, sendo que a maioria tem por objetivo apenas a remoção de matéria orgânica e sólidos suspensos. Processos de tratamento como as lagoas de maturação e lodos ativados, de acordo com a bibliografia consultada, apresentaram os maiores custos de implantação. Todavia, estes tratamentos podem remover até quatro categorias de patogênicos e quantidades substanciais de amônia, no caso das lagoas, e promover remoção de amônia por desnitrificação, no caso dos lodos ativados.

Os custos por metro cúbico de esgoto tratado apresentaram grande variação de uma ETE para outra, havendo grande influência da vazão tratada nos custos operacionais. Por outro lado, não foi possível concluir qual processo de tratamento é economicamente mais vantajoso do ponto de vista do custo operacional, uma vez que o porte exerce maior influência no custo unitário.

Analisando-se apenas os processos de tratamento, o processo do tipo Lagoas apresentou a menor mediana de custos. O processo de reatores UASB seguidos ou não de pós tratamento teve a maior mediana de custos operacionais, todavia, este é o processo de tratamento adotado na maioria das ETEs de menor porte, que também tiveram a maior mediana de custos operacionais. Por outro lado, quando a análise dos processos se dá junto com o porte, no maior porte (equivalente populacional maior do que 50.000 habitantes), o processo de tratamento com menor mediana de custos operacionais é o UASB/UASB+Pós.

A mediana geral de custo operacional para todas as estações foi de R\$ 0,96/m³, sendo o maior custo operacional de R\$ 4,67/m³, para ETE com equivalente populacional menor do que 5.000 habitantes e tratamento realizado por reator UASB. Já o menor custo operacional foi de R\$ 0,13/m³, para ETE com equivalente populacional maior do que 50.000 habitantes e processo de tratamento por reatores UASB seguidos de filtros biológicos percoladores.

O custo de pessoal foi a despesa mais representativa no estudo realizado, recomendando-se a criação de equipes volantes, que poderiam atender a várias estações próximas, e automatização de algumas atividades nas unidades, visando economia nas despesas com pessoal. Estudos de eficiência energética e um maior controle na gestão do lodo também podem contribuir na diminuição das despesas operacionais.

Por fim, verifica-se que custos de instalação unitários expressos em faixas de valores são muito úteis em estudos preliminares, enquanto não há maiores detalhes da unidade planejada. Contudo, sugere-se a utilização dos custos operacionais juntamente com as demais informações relativas a custos de implantação, área disponível, localização da comunidade vizinha, conformação topográfica do terreno, disponibilidade e consumo energético, distância de transporte, e outras eventualmente disponíveis na elaboração nos estudos de viabilidade e projetos de unidades de tratamento. Custos não mensuráveis do tratamento de esgoto, como a despoluição dos córregos, a redução de vetores de doenças e os demais benefícios ao meio ambiente, também devem ser considerados nas etapas de implantação dos sistemas de esgotamento.

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 – 2014. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2016. 212p. : il.
- 2 BROSTEL, R. C.; NEDER, K. D.; SOUZA, M. A. A. Análise comparativa do desempenho de estações de tratamento de esgotos do Distrito Federal. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 16 a 21 de Setembro de 2001. João Pessoa/PB.
- 3 FRAAS, A. G.; MUNLEY, V. G. Municipal Wastewater Treatment Cost. *Journal of Environmental Economics and Management*, nº 11, p. 28-38. 1984.
- 4 FRIEDLER, Eran; PISANTY, Ehud. Effects of design flow and treatment level on construction and operation costs of municipal wastewater treatment plants and their implications on policy making. *Water Research*, v. 40, n. 20, p. 3751–3758, 2006.
- 5 KERSTENS, S. M.; LEUSBROCK, I.; ZEEMAN, G. Feasibility analysis of wastewater and solid waste

- systems for application in Indonesia. *Science of the Total Environment*, v. 530–531, p. 53–65, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.05.077>>.
- 6 MASSOUD, May A.; TARHINI, Akram; NASR, Joumana A. Decentralized approaches to wastewater treatment and management: Applicability in developing countries. *Journal of Environmental Management*, v. 90, n. 1, p. 652–659, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.07.001>>.
 - 7 MUGA, Helen E.; MIHELICIC, James R. Sustainability of wastewater treatment technologies. *Journal of Environmental Management*, v. 88, n. 3, p. 437–447, 2008.
 - 8 NOYOLA, Adalberto *et al.* Typology of Municipal Wastewater Treatment Technologies in Latin America. *Clean - Soil, Air, Water*, v. 40, n. 9, p. 926–932, 2012.
 - 9 RODRIGUEZ-GARCIA, G; MOLINOS-SENANTE, M; HOSPIDO, A; HERNÁNDEZ-SANCHO, F; MOREIRA, M.T; FEIJOO, G. Environmental and economic profile of six typologies of wastewater treatment plants. *Water Research*, n° 45, p. 5997-6010. 2011.
 - 10 SAMPAIO, A. O; GONÇALVES, M. C. Custos operacionais de estações de tratamento de esgoto por lodos ativados> estudo de caso ETE Barueri. 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – 1997. Rio de Janeiro / RJ / Brasil.
 - 11 TRENNEPOHL, F. G. Levantamento dos custos de operação e manutenção (O&M) de estações de tratamento de água e estações de tratamento de esgoto e o cálculo de indicadores de desempenho (ID) na região metropolitana de Florianópolis/SC. Felipe Gustavo Trennepohl - 2016. 76 f. Orientador: Carlos Roberto Bavaresco. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil - Universidade do Sul de Santa Catarina.
 - 12 VON SPERLING, M. Urban wastewater treatment in Brazil / Marcos von Sperling. P. cm. Inter-American Development Bank – IDB Technical Note; 970). 2016.