

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO,
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

ANÁLISE COMPARATIVA DOS CUSTOS
OPERACIONAIS DE 44 ESTAÇÕES DE
TRATAMENTO DE ESGOTO NA REGIÃO
SUDESTE DO BRASIL

Filipe Nepomuceno Bicalho Santos

Belo Horizonte

2018

**ANÁLISE COMPARATIVA DOS CUSTOS
OPERACIONAIS DE 44 ESTAÇÕES DE
TRATAMENTO DE ESGOTO NA REGIÃO
SUDESTE DO BRASIL**

Filipe Nepomuceno Bicalho Santos

ii

Filipe Nepomuceno Bicalho Santos

**ANÁLISE COMPARATIVA DOS CUSTOS
OPERACIONAIS DE 44 ESTAÇÕES DE
TRATAMENTO DE ESGOTO NA REGIÃO
SUDESTE DO BRASIL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Saneamento

Linha de pesquisa: Tratamento de Águas Residuárias

Orientador: César Rossas Mota Filho

Belo Horizonte

Escola de Engenharia da UFMG

2018

iii

Santos, Filipe Nepomuceno Bicalho.
Análise comparativa dos custos operacionais de 44 estações de tratamento de esgoto na região sudeste do Brasil [recurso eletrônico] / Filipe Nepomuceno Bicalho Santos. – 2018.

1 recurso online (xv, 107 f. : il., color.) : pdf.

Orientador: Cesar Rossas Mota Filho.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Inclui bibliografia.

Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Engenharia sanitária - Teses. 2. Saneamento - Teses. 3. Brasil, Sudeste - Teses. 4. Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) - Teses. I. Mota Filho, César Rossas. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 628(043)

Ficha catalográfica: Biblioteca Prof^o Mário Werneck, Escola de Engenharia da UFMG



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

Escola de Engenharia

Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos

Avenida Antônio Carlos, 6627 - 4º andar - 31270-901 - Belo Horizonte – BRASIL

Telefax: 55 (31) 3409-1882 - posgrad@desa.ufmg.br

<http://www.smarh.eng.ufmg.br>

FOLHA DE APROVAÇÃO

Análise Comparativa dos Custos Operacionais de 44 Estações de Tratamento de Esgoto Na Região Sudeste do Brasil

FILIPE NEPOMUCENO BICALHO SANTOS

Dissertação defendida e aprovada pela banca examinadora constituída pelos Senhores:

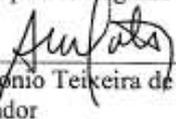

Prof. CÉSAR ROSSAS MOTA FILHO


Prof. MARCOS VON SPERLING

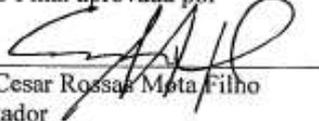

Prof. CARLOS AUGUSTO DE LEMOS CHERNICHARO


Prof. JACKSON DE OLIVEIRA PEREIRA

Aprovada pelo Colegiado do PG SMARH


Prof. Antonio Teixeira de Matos
Coordenador

Versão Final aprovada por


Prof. Cesar Rossas Mota Filho
Orientador

Belo Horizonte, 09 de julho de 2018.

v

*“Gosto de ver um homem orgulhoso da terra onde viveu
Gosto de ver um homem viver de tal maneira
Que sua terra se orgulhará dele”.*

Abraham Lincoln

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Isabella, esposa querida, e Francisco, filho amado, por aguentarem tão bravamente os meus períodos de ausência.

Agradeço ao Professor César, pela orientação e ensinamentos, ao Professor Marcos, por ser um profissional tão exemplar, e a todos os professores, funcionários e alunos do DESA, por me ajudarem a evoluir meus conhecimentos.

Agradeço aos colegas de trabalho, em especial à Pollyane, pela motivação incansável e parceria sincera, à Solange, por todo o apoio e compreensão e ao Saulo, pelas discussões engrandecedoras.

Por fim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho e para a conclusão de mais essa etapa em minha vida.

O autor agradece o apoio recebido do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG e do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Estações Sustentáveis de Tratamento de Esgoto – INCT ETEs Sustentáveis.

RESUMO

Mais de 50% dos efluentes domésticos gerados no Brasil não são tratados antes da sua disposição no meio ambiente, causando, a longo prazo, prejuízos ambientais agravantes. Uma das possíveis causas do baixo índice de tratamento de efluentes pode ser o alto custo envolvido na construção e operação de estações de tratamento, que podem ser executadas sem o devido planejamento, tornando o tratamento adequado do esgoto economicamente inviável para as prefeituras e concessionárias. Nesse sentido, foram analisados comparativamente, e por meio de testes estatísticos, dados operacionais de 44 ETEs da região sudeste do Brasil quanto aos processos de tratamento e equivalente populacional da estação, visando subsidiar estudos de viabilidade futuros. Os custos operacionais foram analisados, também, levando em consideração a ociosidade das estações e a sazonalidade de vazões. Os resultados indicaram que os custos por metro cúbico de esgoto tratado apresentaram grande variação de uma ETE para outra, com grande influência da vazão tratada nos custos operacionais,. Avaliando-se todos os processos e portes, o processo de Lagoas apresentou a menor mediana de custos operacionais, com valor igual a R\$ 0,40/m³. A mediana geral dos custos operacionais de todas as estações foi de R\$ 0,96/m³, e o maior custo operacional foi de R\$ 4,67/m³, para a ETE 04, com equivalente populacional menor do que 5.000 habitantes e cujo tratamento é realizado por reator UASB. Já o menor custo operacional foi de R\$ 0,13/m³, para a ETE 43, com equivalente populacional maior do que 50.000 habitantes e processo de tratamento por reatores UASB seguidos de filtros biológicos percoladores.

Palavras-chave: estação de tratamento de esgoto; custos operacionais.

ABSTRACT

Less than 50% of domestic sewage generated in Brazil are treated before their disposal in the environment, causing environmental hazard in the long term. The low rate of wastewater treatment can be explained by the high costs involved in the construction and operation of treatment plants, which are often carried out without proper planning, making sewage treatment economically unfeasible for municipalities and utilities. In this sense, 44 WWTPs from the Southeast region of Brazil were analyzed, aided by statistical tests, and compared. The treatment processes and the population equivalent of the station were analyzed, in order to supply data for future feasibility studies. The operational costs were analyzed, also, by the idleness of the stations and by the seasonality of flows. It was verified that costs per cubic meter of treated sewage presented a large variation from one WWTP to another, with great influence of the flow treated in the operational costs, and the Lagoons group had the lowest median of operational costs (median R\$ 0.40/m³). The overall median of operational costs for all stations was R\$ 0.96/m³, and the highest operating cost was R\$ 4.67/m³, for WWTP 04, with a population equivalent of less than 5,000 inhabitants and whose treatment is performed by UASB reactor. The lowest operating cost was R\$ 0.13/m³, for the WWTP 43, with a population equivalent of over 50,000 inhabitants and a treatment process by UASB reactors followed by trickling filters.

Keywords: Wastewater treatment plant; operational costs; statistical tests.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 OBJETIVO GERAL	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
3. REVISÃO DA LITERATURA.....	4
3.1 SANEAMENTO E O TRATAMENTO DE ESGOTOS NO BRASIL.....	4
3.2 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE ESGOTO	5
3.2.1 <i>Objetivos e legislação</i>	5
3.2.2 <i>Níveis e tipos de tratamento</i>	6
3.3 DESEMPENHO DAS DIFERENTES TECNOLOGIAS PARA TRATAMENTO DE ESGOTO	7
3.4 CUSTOS DE CONSTRUÇÃO	9
3.5 CUSTOS DE OPERAÇÃO	12
3.5.1 <i>Tarifas dos serviços</i>	12
3.5.2 <i>Custos operacionais do tratamento de esgoto</i>	15
3.6 ESTUDOS DE VIABILIDADE	29
4. MATERIAL E MÉTODOS	37
4.1 DESCRIÇÃO GERAL DOS DADOS.....	37
4.1.1 <i>Indicadores para comparação dos resultados</i>	43
4.2 AGRUPAMENTO DOS DADOS.....	44
4.3 CORREÇÃO CAMBIAL DOS CUSTOS OPERACIONAIS	48

4.4	OBSERVAÇÕES SOBRE OS DADOS COLETADOS.....	49
4.4.1	<i>Confiabilidade dos dados coletados</i>	49
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
5.1	AVALIAÇÃO DOS DADOS	52
5.1.1	<i>Agrupamento de Processos de Tratamento</i>	54
5.1.2	<i>Agrupamento por Equivalente Populacional</i>	58
5.1.3	<i>Considerações sobre os gastos com “Pessoal”</i>	61
5.2	AVALIAÇÃO DOS CUSTOS OPERACIONAIS	63
5.2.1	<i>Avaliação da ociosidade das estações</i>	70
5.3	TESTES ESTATÍSTICOS	72
5.3.1	<i>Verificação dos “Outliers”</i>	73
5.3.2	<i>Teste de agrupamentos</i>	75
5.3.3	<i>Comparação entre as medianas</i>	79
5.3.4	<i>Verificação da correlação entre as variáveis – coeficiente de SPEARMAN</i>	80
5.3.5	<i>Verificação da ociosidade</i>	83
5.3.6	<i>Avaliação da correlação para os diferentes gastos</i>	85
5.4	COMPARAÇÃO COM A SAZONALIDADE	89
5.5	OPORTUNIDADES DE MELHORIAS	92
6.	CONCLUSÕES.....	95
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS / RECOMENDAÇÕES.....	98
8.	REFERÊNCIAS.....	100

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1: Índice de atendimento urbano por rede coletora de esgotos nos municípios participantes do SNIS – Estados x Municípios. Fonte: BRASIL, 2016.....	1
FIGURA 3.1: Tarifa x despesa para os prestadores de serviço participantes do SNIS 2014. Fonte: BRASIL, 2016.....	14
FIGURA 3.2: Composição média dos gastos das empresas de saneamento participantes do SNIS em 2014.....	21
FIGURA 3.3: Diferença relativa entre receita operacional e despesa total por prestadores de serviços de saneamento.	36
FIGURA 4.1: Distribuição geográfica das 44 estações de tratamento de esgoto.....	38
FIGURA 4.2: Diagrama dos custos e agrupamento de despesas.	41
FIGURA 5.1: Medianas e médias dos gastos com a operação de 44 ETEs para os agrupamentos de porte e processo de tratamento.....	54
FIGURA 5.2: Gastos com a operação de 44 ETEs – Processos de tratamento.....	55
FIGURA 5.3: Gastos com a operação de 44 ETEs – Equivalente populacional.....	59
FIGURA 5.4: Ocorrências de furtos nas ETEs nos últimos 7 anos.....	61
FIGURA 5.5: Variação do custo por m ³ de esgoto tratado para as 44 ETEs analisadas.....	64
FIGURA 5.6: Custos operacionais deste trabalho (SANTOS, 2018) em comparação com a literatura.....	67
FIGURA 5.7: Comparação da mediana dos custos operacionais para as vazões de PROJETO e REAL.....	71
FIGURA 5.8: Sazonalidade das vazões e custos operacionais das “ETEs Outliers”.....	74
FIGURA 5.9: Dendogramas de agrupamento das ETEs para os diferentes gastos.....	76
FIGURA 5.10: Gráficos Biplot para diferentes variáveis.	78
FIGURA 5.11: Gráficos de dispersão para diferentes variáveis.	82
FIGURA 5.12: Gráficos de dispersão para os gastos com “Pessoal”.....	85
FIGURA 5.13: Gráficos de dispersão para os gastos com “Energia”.	86
FIGURA 5.14: Gráficos de dispersão para a “Transporte do Lodo” e “Demais gastos”.....	87
FIGURA 5.15: Gráficos de dispersão para os “Demais gastos”.	88
FIGURA 5.16: Análise dos efeitos da sazonalidade nos custos operacionais.	91

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1: Eficiências típicas de remoção de constituintes de interesse nos esgotos domésticos.	8
TABELA 3.2: Custos de construção para 84 ETEs no Brasil – Data base: Jan/2017.....	11
TABELA 3.3: Tarifas médias praticadas e cobrança do esgoto nos Estados do Brasil.	14
TABELA 3.4: Resultados dos custos operacionais médios para 338 ETEs na Espanha.	15
TABELA 3.5: Custos operacionais para 24 ETEs na região da Valência/Espanha.	16
TABELA 3.6: Funções de custos para diferentes processos de tratamento na Espanha.	19
TABELA 3.7: “Preços sombra” e valores dos benefícios ambientais da remoção de poluentes.	20
TABELA 3.8: Custos operacionais (R\$/m ³ - Jan/2017) para diferentes ETEs no Brasil.....	22
TABELA 3.9: Custos operacionais (Jan/2017) para diferentes processos de tratamento.	23
TABELA 3.10: Custos operacionais para ETEs no Distrito Federal (Data base: Janeiro/2017).	24
TABELA 3.11: Custos operacionais médios, para diferentes gastos, para diferentes ETEs no Distrito Federal (Data base: Janeiro/2017).	25
TABELA 3.12: Custos operacionais para diferentes processos de tratamento no Espírito Santo.	27
TABELA 3.13: Custos operacionais para duas ETEs em Florianópolis. Data base: Jan/2017.	28
TABELA 3.14: Resumo dos custos operacionais encontrados na revisão bibliográfica (R\$/m ³ - Jan/2017)	29
TABELA 4.1: Estações de Tratamento de Esgoto analisadas	42
TABELA 4.2: Quantitativo de Estações de Tratamento de Esgoto por porte.	47
TABELA 4.3: IPCA e fator multiplicador para conversão para a data base de Janeiro/2017.	48
TABELA 5.1: Resumo dos dados utilizados no trabalho e processos de Tratamento e vazões para as ETEs analisadas, organizadas em ordem crescente de vazão de projeto.	53
TABELA 5.2: Síntese dos custos por m ³ de esgoto tratado (vazão REAL) (R\$/m ³ -Jan/2017).	66
TABELA 5.3: Medianas dos custos operacionais (R\$/m ³ -Jan/2017) para diferentes gastos... ..	66

TABELA 5.4: Síntese dos custos por m ³ de esgoto tratado (vazão PROJETO) (R\$/m ³ - Jan/2017).	71
TABELA 5.5: Resumos do teste Kruskal-Wallis e Dunn para o grupo de Processos.	79
TABELA 5.6: Resumos do teste Kruskal-Wallis e Dunn para o grupo de Portes.	80
TABELA 5.7: Resumos do teste Dunn para o grupo UASB/UASB+Pós em diferentes portes.	80
TABELA 5.8: Coeficientes de correlação de Spearman para diferentes combinações de variáveis.	81
TABELA 5.9: Coeficiente de correlação de Spearman para a ociosidade e eficiência nos diferentes portes.	84
TABELA 5.10: Coeficiente de correlação de Spearman para as medianas dos valores normalizados das diferentes variáveis ao longo dos 12 meses do ano.	90

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AE – Aeração Prolongada
ANA – Agência Nacional de Águas
CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
ETA – Estação de Tratamento de Água
ETE – Estação de Tratamento de Esgotos
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO – Demanda Química de Oxigênio
FA – Filtro Anaeróbio
FBP – Filtro Biológico Percolador
FS – Fossa Séptica
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
IPCA – Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LA – Lodos Ativados
LAN – Lagoa Anaeróbia
LF – Lagoa Facultativa
m³ – metro cúbico
N – Nitrogênio
NT – Nitrogênio Total
NTK – Nitrogênio Total Kjeldahl
P – Fósforo
PAC – Programa de Aceleração do Crescimento
PT – Fósforo Total
SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SS – Sólidos Suspensos
SST – Sólidos Suspensos Totais
UASB – Upflow Anaerobic Sludge Blanket

1. 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% dos esgotos domésticos gerados são coletados e tratados e outros 12% da população utilizam solução individual (como exemplo, tem-se o tanque séptico), ou seja, somente 55% da população tem manejo de esgoto considerado adequado. A FIGURA 1.1 apresenta uma representação espacial do atendimento urbano por rede coletora de esgoto dos municípios que participaram da pesquisa realizada pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS – em 2014 (BRASIL, 2016).

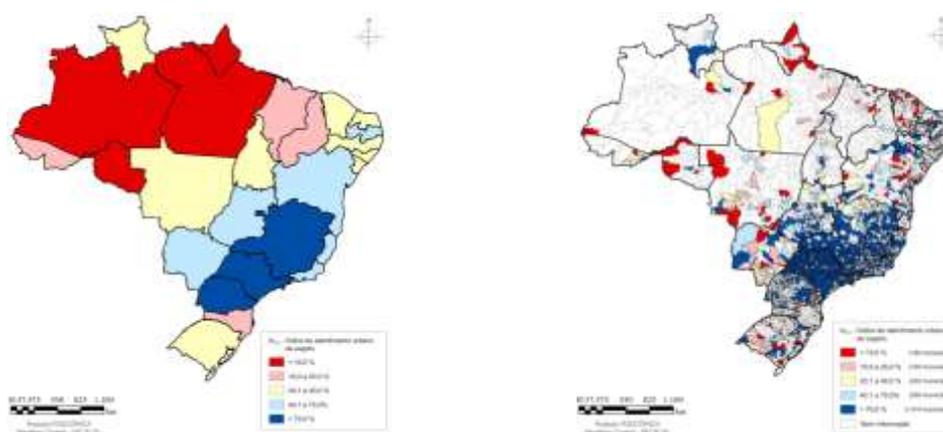


FIGURA 1.1: Índice de atendimento urbano por rede coletora de esgotos nos municípios participantes do SNIS – Estados x Municípios. Fonte: BRASIL, 2016.

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 às municipalidades de elaboração dos planos municipais de saneamento (BRASIL, 2007). Assim, é necessário o planejamento das novas infraestruturas a serem implantadas levando-se em conta princípios de sustentabilidade econômica, ambiental e operacional dos sistemas de esgotamento sanitário, 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, com os custos operacionais e a complexidade operacional, bem como as eficiências de remoção sendo

relegados ao segundo plano. Em muitos casos, a tecnologia de tratamento a ser empregada é simplesmente determinada por empresas projetistas sem qualquer estudo de viabilidade, análise dos custos operacionais ou benefícios ambientais da tecnologia de tratamento proposta.

Outro complicador para a universalização dos serviços de esgotamento é o planejamento inadequado da implantação das estações de tratamento de esgoto – ETEs. Por vezes, aportam-se recursos para a construção de estações de tratamento e, por falta de recursos para finalização das obras de implantação das redes coletoras, interceptores e demais componentes do sistema de esgotamento ou por baixa taxa de adesão aos sistemas, tem-se ETEs ociosas, ou seja, com capacidade para tratar uma quantidade muito maior do que o esgoto que aflui às unidades. A ociosidade das estações pode ser influenciada, também, pela sazonalidade de vazões durante o ano, com períodos de menor e maior volume de esgoto aportando às ETEs, como nos períodos chuvosos. Diante disso, para embasamento sobre a etapalização de implantação dos sistemas de esgotamento sanitário, é necessário conhecimento sobre a influência da ociosidade e sazonalidade de vazões nos custos operacionais das estações.

Para elaboração de estudos de viabilidade de implantação de diferentes processos de tratamento de esgoto é importante entender o fracionamento dos custos operacionais das estações e quais os tipos de gastos que mais contribuem para a composição dos custos operacionais totais de diferentes tecnologias de tratamento. Todavia, os custos operacionais reais de diferentes tecnologias de tratamento são pouco estudados e há informações limitadas deste tema disponível na literatura.

Em outra vertente, Araújo (2017), ao analisar o panorama das ETEs no Brasil, notou que no país predominam as ETEs de pequeno porte, provavelmente associado ao fato de que 68,3% dos municípios brasileiros possuem menos do que 20.000 habitantes. Porém, a maioria do esgoto gerado está nas cidades de maior porte, o que evidencia a necessidade de ampliação do conhecimento acerca dos custos operacionais com o tratamento de esgotos para municípios de diferentes portes. Neste contexto faz-se necessário uma análise comparativa dos custos operacionais entre as diferentes tecnologias de tratamento de esgotos atualmente utilizadas e, também, entre os diferentes portes dos municípios. Esta análise pode subsidiar estudos de viabilidade para a implantação e operação de estações de tratamento de esgoto.

2. OBJETIVOS

2.1 *Objetivo geral*

O objetivo geral desta pesquisa é a análise e comparação dos custos operacionais de 44 estações de tratamento de esgoto na região sudeste do Brasil, com vistas à avaliação de diferentes tecnologias de tratamento.

2.2 *Objetivos específicos*

- Avaliar os custos operacionais totais por m³ de esgoto tratado de diferentes tecnologias de tratamento de esgoto;
- Avaliar os custos operacionais totais por m³ de esgoto tratado para diferentes portes de estações;
- Avaliar o fracionamento dos custos operacionais em termos dos custos de energia, pessoal e transporte de lodo de diferentes tecnologias;
- Avaliar a influência da ociosidade nas estações de tratamento de esgoto nos custos operacionais;
- Avaliar a influência da sazonalidade de vazões afluentes às ETEs nos custos operacionais.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Saneamento e o tratamento de esgotos no Brasil

Nas últimas décadas, o Brasil tem passado por uma série de transformações, em especial nos planos político, social e econômico. O saneamento, integrante de um amplo conjunto de políticas públicas, tem sido vítima da instabilidade dessas políticas, cenário comum a diversos setores relacionados ao atendimento de demandas sociais, como a saúde e a educação, o que vem contribuindo para a perpetuação do quadro de desigualdades do país. Agrava o fato de que, até o momento, não houve iniciativa de criação de uma agência reguladora nacional para a área de saneamento, sendo que a agência de maior proximidade com a área é a Agência Nacional de Águas – ANA, vinculada ao Ministério do Meio Ambiente, que tem o mandato de implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos (REZENDE e HELLER, 2008).

Dispor de serviços de água e esgoto, com áreas totalmente cobertas por redes, não necessariamente significa tê-los universalizados. Além das questões relativas a qualidade e a continuidade dos serviços, o acesso a infraestrutura é muitas vezes limitado pela falta de capacidade de pagamento das tarifas pela população. Diante disso, as políticas redistributivas como fundos, subsídios e recursos a fundo perdido, são essenciais para a universalização do saneamento, sendo responsáveis pelo aumento na infraestrutura brasileira nas últimas décadas (GALVÃO JÚNIOR, 2009).

Galvão Júnior (2009) afirma que, apesar da destinação de verbas estar focada nas áreas mais deficitárias de infraestrutura sanitária, a qualidade do gasto público é um dos entraves para se atingir a eficiência e eficácia na alocação dos recursos. A qualidade do gasto está relacionada ao uso indevido dos recursos públicos, à utilização de critérios políticos na definição das prioridades dos investimentos e à ausência de eficácia da infraestrutura instalada, o que é mais uma consequência da fragilidade do setor.

Heller (2006) afirma que a análise histórica sugere que houve uma progressiva alteração na forma como a área de saneamento, como uma política pública, é visualizada e assumida pelo estado, como consequência de fatores como a preocupação com o controle de doenças, de processos econômicos, políticos, sociais e culturais e da visão de estado predominante a cada época. E ressalta que as assimetrias hoje verificadas na prestação de serviços mostram um forte

componente social: os excluídos têm predominantemente menor renda, vivem em municípios menores e com menor IDH.

Em outro ponto de vista, Oliveira (2010) afirma que o efetivo controle social é imprescindível para o sucesso da gestão do saneamento. O Estado, com a ajuda dos usuários, pode muito bem prover serviços de qualidade a todos, sem discriminação de classe social ou favorecimento de alguma região. Para isso, basta que ele abdique da lógica de mercado que permeia atualmente as suas ações como a busca desenfreada pelo lucro e pela sustentabilidade dos sistemas, uma vez que os resultados sociais são mais importantes que os econômicos.

Em 2007 foi criada a Lei 11.445, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e, apesar de não ter um caráter regulatório, estabelece a exigência de se construir entidade de regulação que objetive o estabelecimento de padrões e normas para a prestação de serviços, garantir o cumprimento de metas e definir tarifas (BRASIL, 2007).

Em uma visão voltada ao esgotamento sanitário, de acordo com o relatório de 2014 do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS (BRASIL, 2016), para os prestadores de serviços participantes do SNIS entre 2004 e 2014, nota-se crescimento contínuo e significativo dos índices de coleta de esgotos (crescimento de 29,9%) e de tratamento dos esgotos gerados (crescimento de 30,3%). Esse crescimento sinaliza o esforço das políticas públicas de priorizar estes serviços, contudo, estes índices ainda são baixos no país. Ainda segundo BRASIL (2016), apesar de 70,9% dos esgotos serem coletados, apenas 40,8% dos esgotos gerados são tratados. Os piores índices de tratamento e coleta são da região Norte (14,4% e 7,9%, respectivamente). O melhor índice de coleta é na região Sudeste (78,3%) e o melhor índice de tratamento é na região Centro-Oeste (46,4%). Com relação a investimentos, nota-se um patamar mais elevado de investimentos no esgotamento sanitário, em comparação aos investimentos nos sistemas de abastecimento de água, que tem maior cobertura de atendimento em relação ao esgotamento.

3.2 Tecnologias de Tratamento de esgoto

3.2.1 Objetivos e legislação

O objetivo do tratamento de esgoto refere-se à remoção dos principais poluentes presentes nas águas residuárias, de forma a manter a classe de uso prevista para um corpo receptor (BARROS et al, 1995). Essas classes de uso são definidas na Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA – nº 20, de 18/06/1986, que dividiu as águas do território nacional em

águas doces, salobras e salinas e, em função dos usos previstos, foram criadas nove classes. Para as águas doces existem 5 classes, sendo a primeira, Classe Especial, de uso mais nobre, e a última, Classe 4, de uso menos nobre.

A cada uma das classes em que são divididas as águas brasileiras corresponde uma determinada qualidade a ser mantida no corpo d'água, sendo essa qualidade expressa na forma de padrões de qualidade dos corpos receptores e padrões para lançamentos de efluentes nos corpos d'água, padrões estes que são estabelecidos na referida resolução CONAMA nº20, a nível nacional.

3.2.2 Níveis e tipos de tratamento

De acordo com von Sperling (2014), o tratamento de esgotos é usualmente classificado através dos seguintes níveis, com os respectivos compostos que são objetivo de remoção:

- **Preliminar:** sólidos grosseiros (materiais de maiores dimensões e areia);
- **Primário:** sólidos em suspensão sedimentáveis (inclusive a DBO em suspensão);
- **Secundário:** DBO em suspensão (caso não haja tratamento primário), DBO em suspensão finamente particulada e DBO solúvel;
- **Terciário:** nutrientes, organismos patogênicos, compostos não biodegradáveis, metais pesados, sólidos inorgânicos dissolvidos e sólidos em suspensão remanescentes.

Os processos de nível secundário mais usados em países de clima quente são listados a seguir, de acordo com von Sperling (2014):

- **Lagoas de estabilização:** lagoa facultativa, lagoa anaeróbia – lagoa facultativa, lagoa aerada facultativa, lagoa aerada de mistura completa – lagoa de decantação, lagoas de alta taxa, lagoas de maturação;
- **Disposição no solo:** infiltração lenta, infiltração rápida, infiltração sub superficial, escoamento superficial, terras úmidas construídas;
- **Sistemas anaeróbios:** filtro anaeróbio, reator anaeróbio de manta de lodo e fluxo ascendente (UASB), reator anaeróbio – pós-tratamento;
- **Lodos ativados:** lodos ativados convencional (LA), lodos ativados por aeração prolongada, lodos ativados de fluxo intermitente, lodos ativados com remoção biológica de nitrogênio, lodos ativados com remoção biológica de nitrogênio e fósforo;

- **Reatores aeróbios com biofilmes:** filtros biológicos percoladores, filtro de baixa carga, filtro de alta carga, biofiltro aerado submerso, biodisco.

Ainda segundo von Sperling (2014), todos os processos de tratamento de esgotos descritos podem ser também utilizados como pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios, em especial os reatores UASB, sendo essa uma tendência no país. Entre suas vantagens destacam-se as menores dimensões das unidades, menor consumo de energia e menor produção de lodo, mantendo-se boas eficiências de remoção de matéria orgânica. Tal fato foi comprovado por Saliba (2016), em uma análise de desempenho de uma estação de tratamento de esgotos para 350.000 habitantes e que utiliza os reatores UASB seguidos de lodos ativados convencional.

Uggetti et al (2010) afirmam que a gestão do lodo é uma questão chave nas ETEs, pois representa cerca de 20 a 60% dos custos operacionais, sendo particularmente crítica no caso de comunidades rurais, onde o lodo, por vezes, tem de ser transportado até unidades maiores. Os autores defendem o tratamento do lodo por wetlands, após pesquisa que demonstrou maior eficiência em termos de desidratação e estabilização (comparado com centrifugas e/ou leitos de secagem), com um produto final que poderia ser utilizado na agricultura. Corroboram Yaman e Olhan (2011), em um estudo feito em fazendas de trigo, onde a aplicação de lodo aumentou a produção em 17,6% e o lucro bruto em 64,9%, com redução dos custos de produção em 26,0%.

Em uma avaliação de 2.734 ETEs municipais, sendo 702 delas no Brasil, classificadas por processos e portes em diversos países da América Latina, Noyola *et al.* (2012) mostraram que lagoas de estabilização, lodos ativados e reatores UASB representam 80% dos tipos de tratamento, tratando 81% da vazão considerada. Mostraram ainda que mais de 67% das ETEs são para vazões pequenas (menor do que 25 L/s). Os autores questionaram se a utilização de ETEs descentralizadas poderia resultar em sistemas com baixa eficiência energética e dificuldades em atingir os padrões de lançamento.

3.3 Desempenho das diferentes tecnologias para tratamento de esgoto

Em uma extensa pesquisa com cerca de 50.000 dados operacionais de 208 ETEs no Brasil, compreendendo 21 processos de tratamento, para uma avaliação com enfoque no desempenho

das tecnologias de tratamento de esgoto, Oliveira (2006) verificou que os desempenhos médios das ETEs ficaram abaixo dos valores de literatura para as tecnologias de tratamento analisadas, todavia, foram encontrados bons resultados para ETEs individuais de todas as tecnologias, o que mostra que as limitações não podem ser atribuídas aos processo de tratamento mas, possivelmente, a eventuais problemas de projeto, operação e manutenção das unidades.

A TABELA 3.1, adaptada de Oliveira (2006), apresenta as eficiências típicas encontradas no trabalho e uma comparação com o esperado de acordo com a literatura, onde nota-se que os melhores resultados para atendimento ao padrão de lançamento de efluentes foram obtidos pelos processos de lodos ativados e reatores UASB seguidos de pós-tratamento. Já o desempenho dos sistemas simplificados (FS+FA, LF e reatores UASB sem pós-tratamento), considerando as concentrações efluentes e eficiências de remoção de grande parte dos constituintes, ficou aquém dos valores considerados típicos para estes processos de tratamento.

TABELA 3.1: Eficiências típicas de remoção de constituintes de interesse nos esgotos domésticos.

Constituinte	Faixas	FS+FA ⁽¹⁾	LF ⁽²⁾	LAN+LF ⁽³⁾	LA ⁽⁴⁾	UASB ⁽⁵⁾	UASB+POS ⁽⁶⁾
DBO (%)	Literatura ⁽⁷⁾	80 a 85	75 a 85	75 a 85	85 a 97	60 a 75	75 a 93
	Observadas ⁽⁸⁾	36 a 82	65 a 84	73 a 88	74 a 96	65 a 79	85 a 92
DQO (%)	Literatura	70 a 80	65 a 80	65 a 80	80 a 93	55 a 70	65 a 90
	Observadas	18 a 78	40 a 72	65 a 78	62 a 93	44 a 77	64 a 86
SST (%)	Literatura	80 a 90	70 a 80	70 a 80	87 a 93	65 a 80	70 a 97
	Observadas	39 a 86	23 a 69	35 a 78	53 a 95	57 a 81	71 a 92
NT ⁽⁹⁾ (%)	Literatura	< 60	< 60	< 60	< 60	< 60	< 30 a 65
	Observadas	3 a 39	34 a 58	26 a 60	20 a 78	-19 a -6	-
PT (%)	Literatura	< 35	< 35	< 35	< 35	< 35	< 35 a 88
	Observadas	12 a 53	32 a 63	20 a 50	35 a 55	-21 a 16	-8 a 49
Coliformes Termotolerantes (Unid log)	Literatura	0,5 a 1,5	1,0 a 2,0	1,0 a 2,0	1,0 a 2,0	0,5 a 1,5	1,0 a 5,0
	Observadas	0,2 a 1,8	1,0 a 2,4	1,6 a 3,0	1,4 a 2,8	0 a 1,3	0,8 a 5,2

(1) Fossa séptica seguida de filtro anaeróbio; (2) Lagoas facultativas; (3) Lagoas anaeróbias seguidas por lagoas facultativas;

(4) Lodos ativados; (5) reatores UASB sem pós-tratamento; (6) Reatores UASB com pós-tratamento;

(7) Faixa reportada pela literatura: adaptada de von Sperling (2005);

(8) Faixas observadas: foram utilizados os percentis 10% (valor mínimo) e 90% (valor máximo);

(9) Foram utilizados valores de NTK e NT.

Adaptado de Oliveira (2006).

Narzetti e Martins (2015) defendem a criação de um índice para analisar o desempenho das ETEs através de uma ferramenta de análise de índices operacionais, econômicos e de qualidade para auxiliar a avaliação de resultados e tomada de decisões. Os autores afirmam que o registro

das informações ao longo do tempo gera um grande número de dados analíticos, que precisam ser transformados em um formato sintético e correlacional. Os resultados devem descrever e representar, de forma compreensível e significativa o estado atual e as tendências de eficiência tanto econômicas como técnicas da qualidade da prestação dos serviços de saneamento básico por parte dos prestadores. Tal ferramenta deveria ser utilizada como um instrumento gerencial para a tomada de decisões por parte do ente regulador além de dar transparência aos usuários, garantindo o cumprimento dos princípios elencados na Lei Federal 11.445/2007.

A proposta de criação de indicadores para avaliação do desempenho de estações de tratamento também foi feita por Galvão Júnior (2006) para a regulação dos serviços de água e esgoto. Dentre os indicadores propostos pelo autor destaca-se o indicador de Eficiência no Tratamento dos Esgotos, que teria a finalidade de quantificar os domicílios atendidos pelas redes de esgoto, uma vez que as situações de projeto, em particular as vazões e cargas poluidoras, não correspondem à realidade, pelo menos nos primeiros anos. Outro indicador proposto é o de Saturação do Tratamento de Esgoto, com a finalidade de comparar a oferta e a demanda das instalações e programar a ampliação do sistema.

Brostel, Neder e Souza (2001) afirmam que os índices de eficiência de remoção dos diversos parâmetros de controle operacional, como DBO, SS, Nutrientes, etc., que normalmente são utilizados para avaliar o desempenho de uma estação, muitas vezes não traduzem a realidade do que está ocorrendo no processo de tratamento em termos de carga de poluentes. A título de exemplo, uma unidade que apresenta remoção de 70% de DBO pode estar removendo muito mais carga orgânica por unidade de volume tratado de esgotos, que uma outra que tem eficiência de 90% de remoção de DBO, e, conseqüentemente, estar oferecendo um desempenho operacional superior a essa última. Situação semelhante pode ocorrer do ponto de vista econômico, onde o custo operacional da unidade, quando referenciado ao volume tratado, fica sujeito a distorções devido a variações de vazão da unidade em função de contribuições de águas pluviais ou mesmo do per capita adotado no projeto.

3.4 Custos de construção

Jordão e Pessoa (2014) afirmam que é grande a disparidade de custos de construção nos projetos nacionais, devido a fatores extrínsecos ao processo de tratamento e de natureza econômica, como inflação, moeda nacional e custos financeiros, e afirmam haver uma grande variedade de

curvas de custo na bibliografia internacional, porém, ressaltam cautela para sua utilização, pois, a transposição para a realidade brasileira deve ser feita levando-se em conta, principalmente: produtividade e salários diferentes para a mão de obra; preços distintos dos materiais e equipamentos; custos da terra e obras complementares incluídas nos custos (paisagismo, urbanização...). Os autores apresentaram uma série de curvas de custo de implantação para diferentes processos e, em pesquisas com diversas ETEs, encontraram a média de R\$ 157/hab. para sistemas de lodos ativados; R\$ 65/hab. para implantação de sistemas de lagoas; e R\$ 51/hab. para sistemas de reatores UASB seguidos de pós tratamento (os valores são relativos à data base de nov/2002).

Ainda segundo Jordão e Pessoa (2014), os custos de implantação das ETEs dependerão, em primeiro lugar, do processo e grau de tratamento adotados. Em seguida, os custos serão altamente influenciados pelos aspectos geotécnicos e topográficos, podendo alguns componentes, como aterro do terreno e fundações, representar um elevado percentual nos custos totais. Agrava o fato de que as ETEs tem sido implantadas em áreas afastadas, próximas a cursos d'água, em locais de geotecnia desfavoráveis e as vezes sujeitas a inundações.

Von Sperling e Salazar (2013), a partir de dados obtidos junto a empresas e companhias de saneamento, realizaram uma comparação dos custos de construção de 84 ETEs, divididas em oito categorias comumente aplicadas no tratamento de esgotos no Brasil. Dentre os resultados encontrados pelos autores, destacam-se:

- Para populações pequenas, os custos de construção dos interceptores pode ser maior do que os custos com o tratamento em si;
- Os custos totais (coleta, transporte e tratamento) tiveram grande variação (US\$ 170 a 770/habitante) e dependem do diâmetro das tubulações e condições de assentamento da tubulação (rochas, terrenos alagadiços);
- Em algumas ETEs foi possível notar relação entre custo e porte e em outras não;
- Em todos os casos o custo de coleta respondeu por 53 a 64% dos custos totais de implantação do sistema de esgotamento;
- As ETEs com tratamento por reatores UASB tiveram os menores custos de implantação. Em contrapartida, os sistemas de reatores UASB seguidos de três ou mais lagoas de maturação tiveram os maiores.

Os autores destacam que a comparação dos processos com base unicamente nos custos per capita esconde o fato de que os processos de tratamento analisados têm diferentes objetivos de tratamento, sendo que a maioria visa apenas a remoção de matéria orgânica e sólidos suspensos. Como exemplo, têm-se as lagoas de maturação e o tratamento com lodos ativados, que apresentaram os maiores custos de construção. Todavia, estes tratamentos podem remover até quatro categorias de patógenos e quantidades substanciais de amônia, no caso das lagoas, e remoção de amônia por nitrificação, no caso dos lodos ativados. Os resultados resumidos dessa pesquisa, atualizados por von Sperling (2016), se encontram na TABELA 3.2, onde os custos apresentados foram os que se situam entre os percentis 25 e 75 da amostra geral. Valores maiores e menores foram encontrados, o que reflete a diversidade de condições de implantação das unidades que compõe o sistema de tratamento. O autor chama a atenção que a inclusão de lagoas de maturação para remoção de patógenos como pós-tratamento em sistemas de lagoas em série eleva o custo de construção das ETEs em cerca de 2,3 vezes.

TABELA 3.2: Custos de construção para 84 ETEs no Brasil – Data base: Jan/2017.

Tipo	Número de dados	População (mín - máx)	Custos Por habitante (R\$/hab) ⁽¹⁾
Lagoas facultativas e lagoas anaeróbias seguidas de lagoas facultativas	15	2.089 - 61.000	145-245
Lagoas facultativas e anaeróbio-facultativas seguidas de lagoas de maturação	10	1.000 - 14.485	320-590
Reatores UASB	5	4.320 - 15.146	60-195
Reatores UASB seguidos de uma ou duas lagoas de maturação em série	10	5.135 - 138.000	300-470
Reatores UASB seguidos de três ou mais lagoas de maturação em série	4	7.292 - 41.330	415-700
Reatores UASB seguidos de filtros anaeróbios	9	1.381 - 199.041	230-350
Reatores UASB seguidos de filtros biológicos percoladores	22	4.584 - 300.000	230-395
Lodos ativados	9	40.000 - 1.500.000	385-475

(1) Percentis 25 a 75;
Adaptado de von Sperling (2016).

Destaca-se que os valores apresentados tinham data base de Abril-2010 e foram parametrizados para a data base de Outubro-2015, através do Índice Nacional de Custos da Construção da Fundação Getúlio Vargas – INCC (<http://www.portalbrasil.net/incc.htm>). Os valores foram então convertidos em dólares americanos utilizando-se a taxa de câmbio de US\$ 1,00 = R\$ 3,80 (15/Nov/2015, Banco Central do Brasil). E para este trabalho os valores foram convertidos para a data base de Janeiro de 2017.

Na literatura internacional, Friedler e Pisanty (2006) analisaram os custos de construção de 55 ETEs em Israel, sendo todas com lodos ativados e algumas com remoção de nutrientes e outras com tratamento terciário avançado (ultra filtração, adsorção por carvão ativado, osmose reversa). Foram elaboradas equações para cada tipo de tratamento. O estudo indicou que a economia de escala diminui conforme o nível de tratamento aumenta e mostrou correlação negativa entre os custos de construção civil e a vazão de projeto (quando a vazão sobe os custos proporcionais decrescem). O contrário ocorreu, correlação positiva, entre os custos proporcionais de equipamentos eletromecânicos e a vazão de projeto.

3.5 Custos de operação

Baptista e Rodrigues (2014) afirmam que o custo unitário de coleta e tratamento do esgoto calculado pelas companhias de saneamento brasileiras normalmente utiliza rateio dos custos operacionais desses processos, acrescidos das despesas administrativas, divididos pela quantidade de esgoto coletado e/ou tratado em m³. Mas a prestação dos serviços de coleta e tratamento de esgoto é cobrada utilizando-se um percentual sobre o valor da tarifa cobrada pelo consumo de água.

3.5.1 Tarifas dos serviços

A receita operacional total das empresas prestadoras de serviço de saneamento é o valor faturado decorrente das atividades-fim. A principal fonte de receita são as tarifas dos serviços de água e esgoto. Os modelos de regulação econômica, comumente, focam sobremaneira a entidade que fornece o serviço, o que está totalmente correto para a maioria dos bens e serviços, porém, quando o produto fornecido diz respeito ao abastecimento de água e à coleta de esgoto, temas outrora irrelevantes, como a capacidade de pagamento do consumidor e o seu comportamento eficiente, passam a ser variáveis importantes na definição da tarifa. Desse modo, o modelo de regulação econômica ideal ao sistema de saneamento deve permitir a maximização do bem estar social, promovendo a universalização, a equidade e a eficiência no consumo para a geração atual e futura, sujeito às restrições (1) de equilíbrio econômico-financeiro da companhia, (2) de capacidade de pagamento dos consumidores, (3) de consumo mínimo de água necessário ao abastecimento humano (CRUZ e RAMOS, 2015).

Todavia, devido à realidade de uma parcela da população brasileira, tais tarifas se tornam onerosas e, decorrente disso, em grande parte dos Estados, é praticada a tarifa social, subsídio

dado a partir de critérios como renda familiar, características construtivas do imóvel e, em segundo plano, consumo mensal de água e consumo de energia elétrica. A aplicação de subsídios às contas de água e esgotamento sanitário no Brasil teve início por meio de política nacional da década de 1970 e foi novamente estimulada a partir da edição da Lei Federal nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, atual marco regulatório do setor de saneamento, que ainda acrescentou o papel das agências reguladoras como responsáveis pelo valor cobrado pelas tarifas aplicadas no setor. A tarifa social tem grande relevância como subsídio à cobrança pelos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário (COSSENZO, 2015).

A TABELA 3.3 apresenta as tarifas médias, com água e esgoto, praticadas nos Estados da federação e como é realizada a cobrança dos serviços de esgotamento nas empresas participantes do diagnóstico do SNIS de 2014. Pode-se verificar que a tarifa média pela prestação dos serviços de água e esgoto praticada na região Sudeste, objeto deste trabalho, é de R\$ 2,54/m³, inferior à média nacional de R\$ 2,75/m³.

A tarifa média calculada no SNIS 2014 teve como base a seguinte equação:

$$T = \frac{FN001}{AG011 + ES007} \times \frac{1}{1.000}$$

Onde:

- T = tarifa média praticada, em R\$/m³;
- AG011 = volume de água faturado;
- ES007 = volume de esgoto faturado;
- FN001 = soma das seguintes receitas:
 - FN002 = receitas operacional direta de água;
 - FN003 = receita operacional direta de esgoto;
 - FN007 = receita operacional direta de água exportada (bruta ou tratada);
 - FN038 = receita operacional direta – esgoto bruto importado.

De acordo com Galvão Júnior (2009), a tarifa deveria ser o principal mecanismo de custeio dos serviços e de alavancagem de recursos para investimento. Entretanto, ela é insuficiente para atender as demandas de universalização, que exigem recursos para provisão da infraestrutura. A análise da FIGURA 3.1, que mostra a tarifa média praticada e a despesa total média dos prestadores de serviços participantes do SNIS 2014, corrobora essa afirmação, pois em diversos Estados as despesas relativas são maiores do que as tarifas.

TABELA 3.3: Tarifas médias praticadas e cobrança do esgoto nos Estados do Brasil.

Sigla do prestador	Estado	Nº de faixas de consumo	Nº de categorias residenciais	Tarifa mínima (m³)	Tarifa média Água + Esgoto (R\$/m³)*	Cobrança do esgoto em relação à água**
CASAN	SC	19	2	10	3,35	100%
CAGECE	CE	25	3	10	2,21	100% cat. popular e 110% cat. normal
SANEPAR	PR	9	2	10	2,72	50% na tarifa social e 85% na tarifa normal
CORSAN	RS	10	3	0	4,52	50% coletado e 70% coletado e tratado
SANEATINS	TO	16	2	10	3,28	100%
CAESB	DF	12	2	10	3,95	50%, 60% ou 100%
CESAN	ES	30	2	10	2,38	25%, 52%
SABESP	SP	34	3	10	2,26	100%
EMBASA	BA	47	3	10	2,91	80% sist. conv. e 45% outros sistemas
COPASA	MG	35	2	6	2,49	50% não tratado e 90% tratado
CAGEPA	PB	11	2	10	2,83	10% na tarifa social e 80%, 90% e 100% conforme faixa de consumo
SANEAGO	GO	26	3	0	3,39	73% ou 93%
COSANPA	PA	12	1	10	1,70	60%
AGESPISA	PI	10	2	10	2,52	50% residencial e 80% para as demais
CEDAE	RJ	15	2	15	3,64	100%
DESO	SE	12	1	10	3,29	100%
CAERN	RN	38	3	10	2,78	70%
COMPESA	PE	12	1	10	2,86	50% ou 100%
CASAL	AL	19	2	10	2,86	30%, 80% ou 100%
CAERD	RO	28	2	10	3,34	43%
CAER	RR	4	1	10	1,99	80%
CAEMA	MA	23	2	10	2,21	Não disponível
COSAMA	AM	ND	ND	ND	3,91	Não disponível
CAESA	AP	30	1	10	2,34	Não disponível

Adaptado de Cosseno (2015). *BRASIL (2016) **Devido à inviabilidade em medir o esgoto coletado, a cobrança pelos serviços de esgotamento, na maioria das empresas, é realizada a partir de um percentual pré-definido da tarifa de água, podendo variar para usuários que tem direito às tarifas sociais, para usuários que somente tem o esgoto coletado e não tratado e usuários que tem o esgoto coletado e tratado.

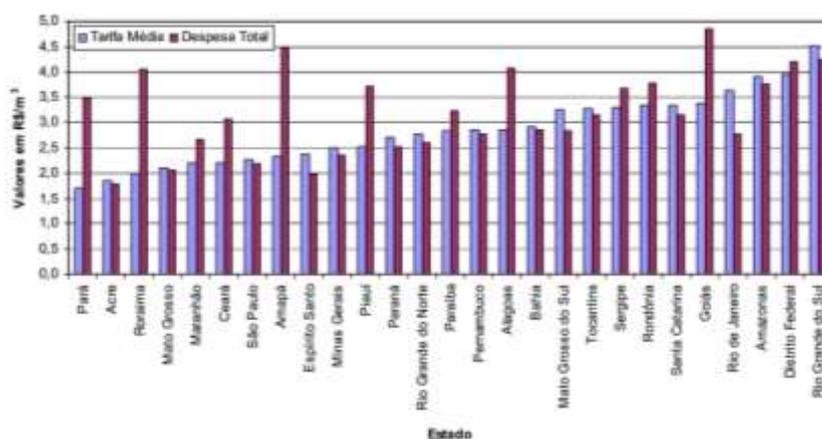


FIGURA 3.1: Tarifa x despesa para os prestadores de serviço participantes do SNIS 2014. Fonte: BRASIL, 2016.

3.5.2 Custos operacionais do tratamento de esgoto

Hernández-Sancho e Sala-Garrido (2009), ao analisarem 338 ETEs na região de Valência (Espanha), propuseram a criação de um índice de eficiência baseado nos custos operacionais das estações e na remoção de poluentes (sólidos suspensos, DBO e DQO). Os autores verificaram que este índice de eficiência operacional reduz conforme o porte das ETEs diminui, porém, notaram que os custos com manutenção e com o gerenciamento do lodo são os fatores que mais influenciam na variação do índice operacional proposto. Os autores concluíram que as ETEs menores poderiam, em média, ter seus custos reduzidos em até 57% se operassem de forma tão eficiente como as ETEs maiores.

A TABELA 3.4 apresenta os custos médios por metro cúbico de esgoto tratado encontrados.

TABELA 3.4: Resultados dos custos operacionais médios para 338 ETEs na Espanha.

	Total	Energia	Pessoal	Manutenção	Gerenciamento de resíduos	Outros***
Custo/m ³ (€/m ³ - 2017)*						
Grupo A	0,82	0,11	0,34	0,06	0,03	0,27
Grupo B	0,43	0,05	0,18	0,03	0,02	0,15
Custo/m ³ (R\$/m ³ - 2017)**						
Grupo A	2,73	0,37	1,14	0,20	0,11	0,91
Grupo B	1,43	0,18	0,59	0,09	0,06	0,52

Grupo A: índice de eficiência operacional menor do que a média da amostra: 204 ETEs.

Grupo B: índice de eficiência operacional maior do que a média da amostra: 134 ETEs.

Adaptado de Hernández-Sancho e Sala-Garrido (2009).

*Valor atualizado de Janeiro de 2009 para Janeiro de 2017 através do índice de inflação do Euro de 5,87%, disponível em <http://www.drcalc.net/index.asp>.

** Valores convertidos para reais, data base janeiro de 2017, através da equivalência – EURO:REAL – de 1:3,3442, disponível em <https://br.investing.com/currencies/eur-brl-converter>.

*** Inclui produtos químicos e amortização dos custos de capital.

Rodriguez-Garcia et al (2011) identificaram, em uma pesquisa com 24 ETEs da Espanha, correlação entre o tipo de tratamento e o atendimento aos padrões de lançamento exigidos, sendo que em ETEs que visam apenas a remoção de matéria orgânica o custo operacional foi menor do que em ETEs com remoção de nutrientes, o que é intuitivo. Porém, os autores ressaltam que o custo do tratamento deve ser observado também pelo benefício ambiental e que, para uma ETE ser considerada sustentável, deve-se atentar para a sua relação com o meio sociocultural e econômico em que está inserida. A TABELA 3.5 apresenta os custos com energia, pessoal e outros para as diferentes tipologias para tratamento de esgotos analisadas no trabalho, com os respectivos valores atualizados para a data base de Janeiro de 2017 e

convertidos para a moeda corrente nacional. Ressalta-se que todas as ETEs analisadas tinham o equivalente populacional maior do que 50.000 habitantes.

TABELA 3.5: Custos operacionais para 24 ETEs na região da Valência/Espanha.

ETEs	Vazão Real (L/s)	Processo	Trat. terciário	Custo/m ³							
				€/m ³ (2017)				R\$/m ³ (2017)			
				Energia	Pessoal	Outros*	Total	Energia	Pessoal	Outros*	Total
ETE 1	624,25	LA	Não	-	-	-	-	-	-	-	-
ETE 2	591,56	LA	Não	0,01	0,03	0,03	0,07	0,05	0,08	0,11	0,24
ETE 3	523,46	VO	Não	0,03	0,03	0,02	0,08	0,10	0,12	0,06	0,28
ETE 4	72,92	AP	Sim	0,04	0,06	0,03	0,12	0,14	0,19	0,09	0,41
ETE 5	170,39	LA	Não	0,03	0,02	0,05	0,10	0,10	0,05	0,17	0,32
ETE 6	447,15	LA	Sim	0,04	0,06	0,08	0,19	0,15	0,21	0,27	0,63
ETE 7	158,34	LA	Não	0,09	0,11	0,03	0,24	0,30	0,38	0,11	0,79
ETE 8	241,03	LA+P	Não	0,07	0,08	0,07	0,22	0,24	0,26	0,24	0,75
ETE 9	436,75	LA+P	Sim	0,03	0,03	0,11	0,17	0,11	0,11	0,35	0,58
ETE 10	486,45	LA+N+P	Não	0,06	0,09	0,11	0,25	0,19	0,29	0,35	0,84
ETE 11	147,07	LA+N+P	Sim	0,08	0,07	0,07	0,22	0,28	0,22	0,24	0,74
ETE 12	123,83	LA+N	Não	0,08	0,07	0,08	0,22	0,25	0,23	0,27	0,75
ETE 13	85,17	LA+N	Não	0,06	0,16	0,10	0,32	0,22	0,54	0,32	1,08
ETE 14	246,41	LA+N+P	Sim	0,04	0,11	0,06	0,22	0,15	0,36	0,21	0,73
ETE 15	124,25	LA+N+P	Sim	0,06	0,06	0,20	0,32	0,19	0,21	0,67	1,07
ETE 16	91,96	LA+N+P	Sim	0,11	0,06	0,12	0,30	0,38	0,22	0,41	1,00
ETE 17	334,14	LA+N	Sim	0,06	0,08	0,11	0,25	0,18	0,28	0,38	0,84
ETE 18	412,19	LA+N+P	Sim	0,05	0,09	0,05	0,19	0,16	0,29	0,18	0,62
ETE 19	162,59	LA	Sim	0,04	0,11	0,13	0,28	0,13	0,37	0,43	0,94
ETE 20	353,98	LA+P	Sim	0,06	0,09	0,14	0,29	0,21	0,29	0,48	0,98
ETE 21	204,58	LA+N+P	Sim	0,11	0,15	0,20	0,45	0,36	0,49	0,66	1,50
ETE 22	274,25	LA+N	Sim	0,07	0,10	0,14	0,31	0,23	0,33	0,46	1,02
ETE 23	144,87	LA+N+P	Sim	0,06	0,14	0,07	0,28	0,21	0,47	0,24	0,92
ETE 24	98,08	LA+N+P	Sim	0,13	0,11	0,09	0,33	0,44	0,36	0,29	1,10
<i>Média</i>	273,15			<i>0,06</i>	<i>0,08</i>	<i>0,09</i>	<i>0,24</i>	<i>0,21</i>	<i>0,28</i>	<i>0,30</i>	<i>0,79</i>
<i>Percentual</i>				<i>26%</i>	<i>35%</i>	<i>39%</i>	<i>100%</i>	<i>26%</i>	<i>35%</i>	<i>39%</i>	<i>100%</i>

Adaptado de Rodriguez-Garcia et al (2011). LA: Lodos Ativados; VO: Valos de Oxidação; AP: Aeração Prolongada; N: remoção de nitrogênio; P: remoção de fósforo. *Outros incluem produtos químicos, gestão do lodo e resíduos sólidos.

Os valores médios, mínimo e máximo encontrados pelos autores para os custos por m³, respectivamente, foram: € 0,24 / 0,79; € 0,07 / R\$ 0,24; e € 0,45 / R\$ 1,50, com grande representatividade dos outros gastos nos custos por m³ totais. Outro destaque é para os gastos com Pessoal, que, em média, representaram 35% do total. Os autores destacam também alto percentual de gastos com energia elétrica, de onde vem a importância de estudos de eficiência

energética. Os “Outros” gastos são relativos a produtos químicos, reagentes, gestão do lodo e manutenção, onde ocorreram grandes variações.

Por fim, Rodriguez-Garcia et al (2011) também verificaram o custo por kgPO_4^3 removido das estações e concluíram que, levando em consideração o potencial de eutrofização das ETEs, este parâmetro de comparação traz um reflexo melhor de quão bem ou de quão eficiente, em termos operacionais, a estação está operando, em relação ao custo por m^3 , que traz resultados mais intuitivos.

Em um estudo realizado em Israel, Friedler e Pisanty (2006) verificaram que os custos operacionais são de 20%-70% mais sensíveis ao nível de tratamento e do que os custos de construção e que a estratificação das diferentes variáveis que compõem os custos operacionais aumentou conforme a vazão e o nível do tratamento aumentaram. Os autores destacam que muita atenção tem sido dada a performance e eficiência das estações, e na outra face, pouca atenção aos custos operacionais e de construção.

Noyola *et al.* (2012), baseados em uma amostra de 2.734 estações de tratamento de esgoto municipais, identificaram que o custo operacional por m^3 é maior para ETEs menores (até 25 L/s), principalmente pelo preço relativo de pessoal e equipamentos eletromecânicos superdimensionados. No entanto, não notaram diferença clara na comparação de ETEs de médio porte (25 a 250 L/s) e grande porte (250 a 2500 L/s). Neste estudo 80% das ETEs utilizavam processos de lodos ativados, reatores UASB ou Lagoas.

Na Indonésia, Kerstens, Leusbrock e Zeeman (2015) identificaram que os custos com mão de obra representaram uma média de 36% no total dos gastos, sendo 22% nas ETEs mais simples e 55% nas ETEs que utilizam sistemas mais complexos. O custo de energia nos sistemas aerados representaram cerca de um quarto dos custos operacionais e uma média de 17% dos custos operacionais (variando de 4 a 22%) foram com manutenção, com os menores valores para os filtros anaeróbios e lagoas aeradas. Os autores identificaram que os investimentos e custos operacionais dos filtros anaeróbios e das lagoas são os menores e, em contrapartida, os investimentos e custos operacionais dos biorreatores de membranas são os maiores.

Na América do Norte, Muga e Mihelcic (2008) avaliaram vários indicadores que incorporam fatores de meio ambiente, sociedade e economia para verificar a sustentabilidade de ETEs

(lodos ativados, sistemas de lagoas e sistemas de disposição no solo) para vazões de até 18.900 m³/dia (2.19 L/s). O estudo mostrou que a interpretação de cada indicador depende de fatores geográficos e demográficos e que o custo com o tratamento mecânico é de 4 a 5,5 vezes maior do que um sistema de lagoa e 4 a 6,5 vezes maior que um sistema de disposição no solo. Os autores atribuem isso a equipamentos altamente mecanizados e processos complexos que requerem consideráveis entradas de energia.

Os autores afirmam que, devido ao custo de tratamento para populações menores ser muito maior do que o custo para populações maiores, pode haver problemas de acessibilidade de comunidades menores ao esgotamento sanitário, especialmente para as pessoas de baixa renda, sendo que o que pode ajudar nessa situação é a utilização de sistemas não mecanizados, como lagoas e disposição no solo.

Em outra abordagem, Fraas e Munley (1984) afirmam que os principais determinantes dos custos do tratamento de esgoto são o volume de esgoto tratado e as concentrações dos poluentes afluentes e efluentes da estação. Os autores propõem uma equação genérica para o cálculo dos custos operacionais:

$$C = f(F, I, E, P)$$

Onde:

- C = custo do tratamento de esgoto;
- F = vazão afluente;
- I = concentração de poluentes afluentes à estação;
- E = concentração de poluentes efluentes da estação;
- P = vetor de preços para entrada de fatores.

Nesta mesma linha, Hernández-Sancho, Molinos-Senante e Sala-Garrido (2011) propuseram equações para prever os custos operacionais e de manutenção das estações de tratamento de esgotos, com base nos dados de 341 ETEs da Espanha. A equação geral obtida foi:

$$C = AV^b e^{(\sum \alpha_i x_i)}$$

Onde:

- A, b e α são parâmetros;
- C é o custo total por ano (Euros);
- V é o volume de esgoto tratado por ano (m^3);
- x_i são diferentes tipos de variáveis representativas nos processos como a idade da estação (A) e a eficiência de remoção (%) dos seguintes contaminantes: sólidos suspensos (SS), demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), nitrogênio (N) e fósforo (P).

A TABELA 3.6 apresenta as equações encontradas para os diferentes processos de tratamento, onde os autores verificaram que o porte das estações influenciou significativamente nos custos de operação e manutenção.

TABELA 3.6: Funções de custos para diferentes processos de tratamento na Espanha.

Processo de Tratamento	Funções de custo	R ²
Aeração prolongada	$C = 169,4844V^{0,4540} e^{(0,0009A+0,6086SS)}$	0,6133
Lodos Ativados	$C = 2,1165V^{0,7128} e^{(0,0174A+1,5122SS+0,0372DBO)}$	0,6849
Lodos Ativados + N + P	$C = 2,5180V^{0,7153} e^{(0,007A+1,45SSDQO+0,258N+0,243P)}$	0,7301
Disposição no solo (<i>Bacterial beds</i>)	$C = 17,3617V^{0,5771} e^{(0,1006A+0,6932DQO)}$	0,9862
Disposição no solo (<i>Peat beds</i>)	$C = 1.510,8400V^{0,2596} e^{(0,0171SS)}$	0,5240
Biodiscos	$C = 28,9522V^{0,4493} e^{(2,3771SS)}$	0,8058
Tratamento terciário	$C = 3,7732V^{0,7223} e^{(0,6721DQO+0,1958N+0,7603P)}$	0,9029

C=custo total (Euros) por ano ; V= volume de esgoto tratado (m^3) por ano; A= idade da estação (anos); SS, DBO, DQO, N e P são as eficiências de remoção (%) dos respectivos parâmetros sólidos suspensos, demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, nitrogênio e fósforo.

Uma análise de estações de tratamento de água – ETAs – corrobora a verificação de Hernández-Sancho, Molinos-Senante e Sala-Garrido (2011), sendo que em um estudo comparando os custos operacionais de 1.132 ETAs em cinco países (Albânia, Brasil, Noruega, Rússia e Polônia), pela comparação das médias e medianas, foi notado que ganhos substanciais podem ser atingidos com estações maiores (TSAGARAKIS, 2013).

Hernandez-Sancho, Molinos-Senante e Sala-Garrido (2010) afirmam que a implantação de políticas para prevenir a redução e degradação dos recursos naturais requer a determinação de seu valor em termos sociais e econômicos e a incorporação desses valores nos processos de decisão que, no caso do tratamento de esgoto, tem diversos benefícios ambientais. Porém, esses benefícios são difíceis de mensurar, seja por não estarem estabelecidos no mercado, seja pela falta de legislação específica, ou ainda pela falta de dados concretos para decisões. Com isso, os autores propuseram uma inovadora metodologia, baseada em “preços sombra”, para os poluentes removidos com o tratamento de esgotos, onde esses valores representam o custo evitado (benefício ambiental) associado à poluição que não foi lançada no meio ambiente. A comparação entre estes custos evitados com os custos dos processos de tratamento poderia ser utilizada em estudos de viabilidade para projetos de estações de tratamento de esgoto. A TABELA 3.7 apresenta os “preços sombra” encontrados pelos autores e os consequentes valores dos “benefícios ambientais” com a remoção dos principais poluentes presentes no esgoto doméstico.

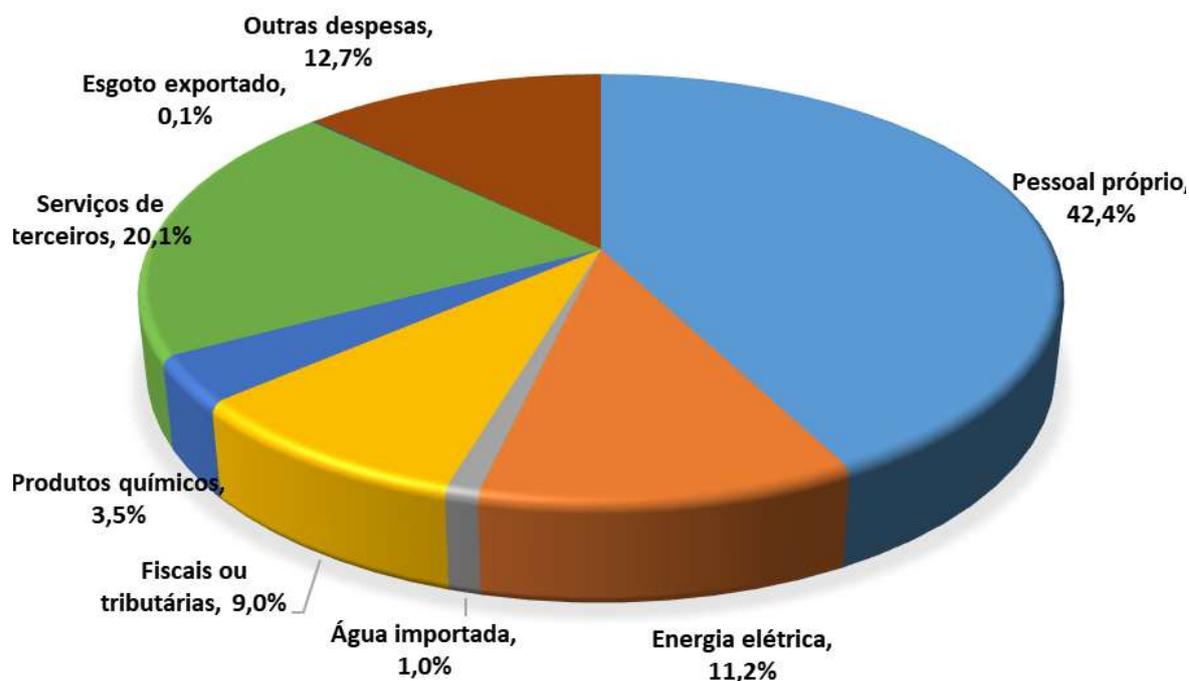
TABELA 3.7: “Preços sombra” e valores dos benefícios ambientais da remoção de poluentes.

Preços sombra de descartes indesejados (€/kg)	N	P	SS	DBO	DQO	Custo do tratamento (€/m ³)
Rio	-16,353	-30,944	-0,005	-0,033	-0,098	0,7
Mar	-4,612	-7,533	-0,001	-0,005	-0,010	0,1
Wetlands	-65,209	-103,424	-0,010	-0,117	-0,122	0,9
Reuso	-26,182	-79,268	-0,010	-0,058	-0,140	1,5
Média	-28,089	-55,292	-0,007	-0,053	-0,093	Total
Remoção (kg/ano)	4.287.717	917.895	60.444.987	59.635.275	113.510.321	-
Valor ambiental (€/ano)	98.133.996	50.034.733	448.098	2.690.421	13.364.429	164.671.677
Valor ambiental (€/m ³)	0,481	0,245	0,002	0,013	0,066	0,807
%	59,9	30,4	0,3	1,6	8,1	100

Adaptado de Hernandez-Sancho, Molinos-Senante e Sala-Garrido (2010).

No Brasil, o último diagnóstico do SNIS, em 2014, apresentou as despesas médias de exploração dos serviços de saneamento, no qual os custos com pessoal configuram-se, com folga, no primeiro item das despesas de exploração, correspondendo a um percentual de 62,5% (pessoal próprio mais terceiros), conforme pode ser visto na FIGURA 3.2.

Ainda na mesma figura, merece destaque o percentual de gastos com energia elétrica – 11,2%, o que indica a necessidade de estudos de eficiência e aproveitamento energético. Nesta linha, Arslan e Sahib (2015) defendem a utilização de inversores de frequência, inclusive nos conjuntos moto bomba menores, uma vez que encontraram economias na ordem de 40% com a utilização destes equipamentos.



Fonte: Adaptado de BRASIL (2016).

FIGURA 3.2: Composição média dos gastos das empresas de saneamento participantes do SNIS em 2014.

Já Von Sperling (2016) analisou dados de 13 ETEs, de uma única companhia de saneamento, e verificou que os custos de operação e manutenção variaram entre R\$ 0,50/m³ e R\$ 1,50/m³ para a maioria das estações, sendo que os custos com pessoal tiveram um impacto significativo nesse valor. A TABELA 3.8 apresenta os custos operacionais encontrados no trabalho, com os valores atualizados para a data base de Janeiro/2017 com a utilização do IPCA – Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo – que é considerado índice oficial de inflação no país.

O autor ressalta que é difícil afirmar se estes valores se aplicam a outras regiões do Brasil, considerando as especificidades dos processos de tratamento e da companhia de saneamento que cedeu os dados para utilização.

TABELA 3.8: Custos operacionais (R\$/m³ - Jan/2017) para diferentes ETEs no Brasil.

ETE	Processo de Tratamento	Energia	Pessoal	Produtos Químicos	Outros	Total
1		0,19	0,37	0,23	0,53	1,32
2		0,23	0,35	0,19	0,58	1,35
3	Lodos Ativados + N + P	0,20	0,21	0,24	0,30	0,94
4		0,68	0,88	0,75	0,47	2,78
5		0,18	0,14	0,07	0,18	0,56
6		0,19	0,37	0,59	0,59	1,74
	<i>Média</i>	<i>0,28</i>	<i>0,39</i>	<i>0,34</i>	<i>0,44</i>	<i>1,45</i>
	<i>Percentual</i>	<i>19%</i>	<i>27%</i>	<i>24%</i>	<i>30%</i>	<i>100%</i>
7		0,05	0,64	0,63	0,77	2,08
8	UASB + lagoas + flotação	0,03	0,37	0,20	0,59	1,20
9		0,03	0,47	0,07	1,36	1,93
		<i>Média</i>	<i>0,04</i>	<i>0,49</i>	<i>0,30</i>	<i>0,91</i>
	<i>Percentual</i>	<i>2%</i>	<i>28%</i>	<i>17%</i>	<i>52%</i>	<i>100%</i>
10		0,01	0,24	0,00	0,68	0,93
11	UASB + lagoas	0,01	0,33	0,01	0,80	1,15
12		0,00	0,11	0,24	0,25	0,60
13		0,07	0,48	0,02	1,39	1,96
		<i>Média</i>	<i>0,02</i>	<i>0,29</i>	<i>0,07</i>	<i>0,78</i>
	<i>Percentual</i>	<i>2%</i>	<i>25%</i>	<i>6%</i>	<i>67%</i>	<i>100%</i>

Adaptado de Von Sperling (2016), com os valores atualizados para Janeiro de 2017.

Em outro trabalho, von Sperling (2014) apresenta uma tabela com estimativas de custos operacionais anuais para os mais diversos processos de tratamento. A TABELA 3.9 transcreve esses valores, com a atualização monetária para Janeiro de 2017 – (IPCA 07/2014 a 01/2017, fator de correção 1,211087 – disponível em <http://www1.folha.uol.com.br/mercado/folhainvest/calculadoras-correcao.shtml>, acesso em 10/01/2018).

Aqui cabe ressaltar que, no trabalho original, os valores estavam na unidade R\$/hab.ano e, para fins de comparação, foram transformados em R\$/m³, com a estimativa do consumo médio de 144 L/hab.dia (considerado consumo per capita micromedido de 150 L/hab.dia, coeficiente de retorno água/esgoto de 0,80 e taxa de infiltração de 20%).

TABELA 3.9: Custos operacionais (Jan/2017) para diferentes processos de tratamento.

Sistema	Operação e Manutenção (R\$/hab.ano)	Operação e Manutenção (R\$/m ³)	Implantação (R\$/hab)	Demanda de área (m ² /hab)
Tratamento primário (tanques sépticos)	5 - 10	0,09 - 0,18	97 - 182	0,03-0,05
Tratamento primário convencional	5 - 10	0,09 - 0,18	97 - 182	0,02-0,04
Tratamento primário avançado	24 - 42	0,46 - 0,81	121 - 242	0,04-0,06
Lagoa facultativa	6 - 10	0,12 - 0,18	121 - 194	2,0-4,0
Lagoa anaeróbia - lagoa facultativa	6 - 10	0,12 - 0,18	109 - 170	1,5-3,0
Lagoa aerada facultativa	12 - 24	0,23 - 0,46	145 - 242	0,25-0,5
Lagoa aerada + lagoa sedimentação	12 - 24	0,23 - 0,46	145 - 242	0,2-0,4
Lagoa anaeróbia + facultativa + maturação	7 - 12	0,14 - 0,23	242 - 448	3,0-5,0
Lagoa anaeróbia + facultativa + de alta taxa	10 - 17	0,18 - 0,32	145 - 242	2,0-3,5
Lagoa anaeróbia + facul. + remoção de algas	10 - 17	0,18 - 0,32	145 - 242	1,7-3,2
Infiltração lenta	2 - 7	0,05 - 0,14	61 - 242	10-50
Infiltração rápida	4 - 10	0,07 - 0,18	61 - 242	1,0-6,0
Escoamento superficial	6 - 12	0,12 - 0,23	97 - 242	2,0-3,5
Wetlands	6 - 12	0,12 - 0,23	121 - 242	3,0-5,0
Tanque séptico + filtro anaeróbio	15 - 24	0,28 - 0,46	194 - 363	0,2-0,35
Tanque séptico + infiltração	7 - 15	0,14 - 0,28	145 - 303	1,0-1,5
Reator UASB	7 - 12	0,14 - 0,23	48 - 145	0,03-0,10
UASB + LA	18 - 36	0,35 - 0,69	145 - 303	0,08-0,2
UASB + biofiltro aerado submerso	18 - 36	0,35 - 0,69	145 - 303	0,05-0,15
UASB + filtro anaeróbio	10 - 18	0,18 - 0,35	170 - 266	0,05-0,15
UASB + FBP de alta carga	15 - 22	0,28 - 0,41	182 - 303	0,1-0,2
UASB + flotação por ar dissolvido	17 - 27	0,32 - 0,51	182 - 303	0,05-0,15
UASB + lagoas de polimento	8 - 17	0,16 - 0,32	218 - 545	1,5-2,5
UASB + lagoa aerada facultativa	12 - 24	0,23 - 0,46	182 - 303	0,15-0,3
UASB + lagoa aerada + lagoa de decantação	12 - 24	0,23 - 0,46	182 - 303	0,1-0,3
UASB + escoamento superficial	12 - 22	0,23 - 0,41	182 - 303	1,5-3,0
Lodos ativados convencional	24 - 48	0,46 - 0,92	291 - 363	0,12-0,25
Lodos ativados - aeração prolongada	24 - 48	0,46 - 0,92	242 - 327	0,12-0,25
Lodos ativados - batelada (aeração prolongada)	24 - 48	0,46 - 0,92	242 - 327	0,12-0,25
Lodos ativados convencional + N	24 - 61	0,46 - 1,15	339 - 484	0,12-0,25
Lodos ativados convencional +N + P	36 - 67	0,69 - 1,27	363 - 545	0,12-0,25
Lodos ativados conv. + filtração terciária	36 - 67	0,69 - 1,27	363 - 545	0,15-0,30
FBP de baixa carga	24 - 36	0,46 - 0,69	182 - 363	0,15-0,30
FBP de alta carga	24 - 36	0,46 - 0,69	182 - 363	0,12-0,25
Biofiltro aerado submerso com nitrificação	24 - 42	0,46 - 0,81	145 - 303	0,10-0,15
Biofiltro aerado submerso +N	24 - 42	0,46 - 0,81	182 - 363	0,10-0,15
Tanque séptico + biodisco	24 - 36	0,46 - 0,69	303 - 363	0,10-0,20

Adaptado de Von Sperling (2014)

Sampaio e Gonçalves (1999), ao analisarem a ETE Barueri, em São Paulo, com processo de tratamento por Lodos Ativados Convencional e capacidade de tratamento de 7.000 L/s (porém, na época da análise a vazão média afluyente à estação era de 3.910 L/s), verificaram custos operacionais de R\$ 0,30/m³ (valor original de R\$0,09/m³, com data base de Dezembro de 1997 e atualizado para Janeiro de 2017 através do IPCA). Os autores destacaram que a implantação de programas para adequação das equipes operacionais, conservação de energia e otimização de dosagens de produtos químicos no condicionamento do lodo poderiam reverter em considerável redução dos custos de operação da ETE, visto que tais gastos representaram quase 75% do total (respectivamente, 41%, 20% e 11%).

Brostel, Neder e Souza (2001), em uma pesquisa com 12 ETEs no Distrito Federal identificaram os custos com mão de obra foram a parcela mais significativa dentre os custos operacionais, sendo que as ETEs de pequeno e médio porte (até 60.000 habitantes), tiveram os seus custos operacionais sensivelmente majorados em função das despesas com recursos humanos.

A TABELA 3.10 e a TABELA 3.11, a seguir, resumem os custos encontrados pelos autores. Os dados são referentes à média dos meses de Janeiro a Agosto de 2000, com os valores atualizados, através do IPCA, para Janeiro de 2017, o que pode fazer com que tenham sofrido alguma distorção.

TABELA 3.10: Custos operacionais para ETEs no Distrito Federal (Data base: Janeiro/2017).

ETE	Índice de Ociosidade	R\$/m ³ (real)*	R\$/hab (real)*	R\$/kgDQO remov	R\$/kgDBO remov
Lagoas e Lagoas associadas a reatores UASB (média/mediana)	67% / 70%	0,79 / 0,62	1,82/1,78	1,11 / 1,15	2,03 / 1,89
Alagado	48%	0,63	1,39	0,99	1,89
Brazlândia	60%	0,28	0,63	0,38	-
Samambaia	68%	0,58	1,43	0,86	1,54
Paranoá	72%	1,57	2,91	1,41	2,08
Planaltina	75%	1,06	2,41	1,72	2,80
São Sebastião	78%	0,62	2,13	1,32	1,87
Lagoas aeradas (média/mediana)	79%	2,49	5,97	3,19	6,30
Recanto das Emas	78%	1,00	3,34	1,07	2,30
Vale do Amanhecer	80%	3,97	8,59	5,32	10,30
Lodos ativados convencional	-21%	1,13	3,27	2,68	5,47
Lodos ativados + N + P (média/mediana)	57% / 55%	2,33 / 1,22	8,98 / 9,74	2,99 / 2,65	6,06 / 5,97
Riacho Fundo	80%	4,95	9,74	4,94	8,94
ETE Sul	38%	0,84	5,73	1,37	3,27
ETE Norte	55%	1,22	11,46	2,65	5,97

Adaptado de Brostel, Neder e Souza (2001). * Vazão afluyente à estação.

TABELA 3.11: Custos operacionais médios, para diferentes gastos, para diferentes ETEs no Distrito Federal (Data base: Janeiro/2017).

ETE	Pessoal* (R\$/m ³)	Energia (R\$/m ³)	Demais gastos** (R\$/m ³)	Volume total tratado (m ³ /mês)	Equivalente Populacional (atual)
Lagoas e Lagoas associadas a reatores UASB	78% 0,62	7% 0,06	15% 0,11	-	-
Alagado	0,43	0,05	0,14	206.431	>50.000
Brazlândia	0,17	0,00	0,11	88.911	entre 5.000 e 50.000
Samambaia	0,44	0,05	0,09	419.458	>50.000
Paranoá	1,25	0,12	0,19	80.605	entre 5.000 e 50.000
Planaltina	0,88	0,07	0,11	174.384	>50.000
São Sebastião	0,54	0,04	0,04	134.595	entre 5.000 e 50.000
Lagoas aeradas	69% 2,08	18% 0,26	13% 0,15	-	-
Recanto das Emas	0,62	0,22	0,16	183.382	>50.000
Vale do Amanhecer	3,54	0,30	0,13	18.171	entre 5.000 e 50.000
Lodos ativados convencional	86%	2%	12%	-	-
Sobradinho	0,98	0,03	0,12	225.378	>50.000
Lodos ativados + N + P	62% 1,51	20% 0,59	18% 0,23	-	-
Riacho Fundo	3,21	1,40	0,34	47.282	>50.000
ETE Sul	0,48	0,18	0,17	2.315.006	>50.000
ETE Norte	0,85	0,19	0,18	1.079.195	>50.000

*Incluem mão de obra própria e terceirizada e uma parcela dos gastos com manutenção. **Incluem análises, produtos químicos, materiais (neste incluso outra parcela dos gastos com manutenções) e outros gastos.

Adaptado de Brostel, Neder e Souza (2001).

No trabalho, Brostel, Neder e Souza (2001) avaliaram o custo por habitante atendido, custo por m³ e custo por kg de DBO removida. Este último foi descartado por ter apresentado grandes variações ao longo dos meses para todas as unidades avaliadas. Foi verificado que, embora os valores de concentração de DQO e de DBO devessem manter uma proporcionalidade, dada a característica basicamente doméstica dos esgotos do DF, isso não foi observado na prática.

Foram analisados, também, indicadores para grupos de processos semelhantes, utilizando-se dados médios do período, onde o indicador de custo que apresentou coerência, em termos de processo, foi o custo por habitante atual, ou seja os processos mais complexos possuem maiores custos operacionais do que os simplificados, a coerência entre custo de processo não foi

observada nos indicadores de custo por m³ e relacionado a DQO, sendo que para este último a influência foi menor.

Foi verificado, ainda, que o custo de operação por m³ de esgoto tratado, que representa a capacidade hidráulica da estação, sofre grande influência do percentual de atendimento da população (ociosidade da unidade) e do tamanho da mesma. O custo de operação relacionado à DQO removida representa a eficiência econômica do processo para tratamento da carga orgânica, sofrendo influência também do percentual de atendimento da população. Já o custo de operação por habitante atendido engloba os dois fatores, não permitindo uma análise detalhada dos fatores componentes do custo operacional.

Por fim, Brostel, Neder e Souza (2001), concluem que, a partir dos resultados obtidos, pode-se, também, constatar a importância de se considerar os principais custos operacionais, envolvendo estimativas reais da quantidade de recursos humanos, quando do estudo de concepção de sistemas de esgotos e definição do processo de tratamento. A opção pela descentralização do tratamento deverá ser cuidadosamente analisada, utilizando-se diferentes custos operacionais para diferentes processos e portes de estações.

Os autores apontam que as ETEs de pequeno e médio porte (até 60.000 habitantes) apresentam melhores desempenhos globais quando os custos operacionais são reduzidos, eliminando-se, ao máximo, o custo com mão de obra. Outra observação é que os processos mecanizados, que exigem uma equipe técnica especializada, envolvendo operadores, técnicos e engenheiros, só passam a ter um menor custo operacional a partir de determinado porte da estação.

Baptista e Rodrigues (2014) analisaram os custos operacionais de 38 ETEs na região metropolitana de Vitória, no Espírito Santo, onde os resultados foram condensados de acordo com os seus respectivos processos de tratamento e apresentados na forma de médias para cada grupo. Os resultados são apresentados na TABELA 3.12.

TABELA 3.12: Custos operacionais para diferentes processos de tratamento no Espírito Santo.

Processo de Tratamento	Número de ETES	Vazão Tratada	Vazão de projeto	Índice de ociosidade	Custo operacional médio R\$/m ³ (Jan/2017)*
UASB com biofiltro aerado	3	29,8	50,2	41%	0,47
Fossa filtro	2	13,2	19,2	31%	0,57
Lagoas de estabilização com aeração	5	309,2	519,0	40%	0,64
Lagoas de estabilização	18	163,2	546,5	70%	0,98
Lodos ativados	4	507,2	965,0	47%	1,08
Lodos ativados com aeração prolongada	3	41,6	41,0	-1%	1,12
UASB/reator anaeróbio	3	6,8	14,3	52%	1,83
Total	38	1071	2155	50%	0,95

* Data base original de Dez/2011. Valores atualizados para Jan/2017 pelo IPCA.

Adaptado de Baptista e Rodrigues (2014)

Baptista e Rodrigues (2014) afirmaram que ETES que tem menos de 50% de capacidade ociosa apresentaram custos unitários menores e mais otimizados, em função da diluição dos custos de operação por um volume maior de esgoto. Os autores sugerem que, em projetos de novas ETES, sejam contemplados o custo unitário de tratamento, considerando vazões de 10% a 100% da vazão de projeto. Recomendam melhor planejamento das obras, visando operação mais otimizada das ETES, evitando que novas ETES operem com baixas vazões de esgoto e destacam a necessidade de estudos visando a desativação de ETES com pequena capacidade de tratamento, que tem alto custo de operação.

Trennepohl (2016) analisou os custos operacionais de duas estações de tratamento de esgotos da região metropolitana de Florianópolis, em Santa Catarina, sendo uma com sistema de lodos ativados com aeração prolongada, que tratou, de Março de 2015 a Março de 2016, a vazão afluente média de 256 L/s; e outra com sistema de reatores UASB seguidos de lodos ativados, tendo tratado a vazão de 137 L/s. Na composição dos custos, o autor utilizou a mão de obra, os produtos químicos, a energia elétrica e outros, onde foram inseridos custos referentes ao tratamento de lodo, custos de remoção de materiais grosseiros e areia e custos referentes a contratos de zeladoria e segurança patrimonial.

A TABELA 3.13 apresenta um resumo dos dados encontrados pelo autor, onde os valores foram atualizados, através do IPCA, da data base original de Março de 2016 para a data base deste trabalho de Janeiro de 2017.

TABELA 3.13: Custos operacionais para duas ETEs em Florianópolis. Data base: Jan/2017.

ETE	Vazão tratada (L/s)	Gastos R\$/mês R\$/m ³ (%)				
		Mão de obra	Materiais	Energia Elétrica	Outros	Total
Insular LA + AP	256	R\$ 122.343	R\$ 59.622	164.996	R\$ 193.342	R\$ 540.304
		0,18 (22,6%)	0,09 (11,0%)	0,24 (30,5%)	0,29 (35,8%)	0,80 (100%)
Canasvieiras UASB+LA	137	R\$ 92.732	R\$ 20.851	R\$ 109.570	R\$ 65.970	R\$ 289.123
		0,26 (32,1%)	0,06 (7,2%)	0,30 (37,9%)	0,18 (22,8%)	0,80 (100%)
<i>Média</i>	<i>196</i>	<i>R\$ 107.538</i>	<i>R\$ 40.236</i>	<i>R\$ 137.283</i>	<i>R\$ 129.656</i>	<i>R\$ 414.713</i>
		<i>0,21 (25,9%)</i>	<i>0,08 (9,7%)</i>	<i>0,26 (33,1%)</i>	<i>0,25 (31,3%)</i>	<i>0,80 (100%)</i>

*LA+AP: Lodos ativados com aeração prolongada; UASB + LA: reatores UASB seguidos de lodos ativados. Adaptado de Trennepohl (2016).

O autor destaca que, para a ETE Insular, o elevado gasto para destinação final do lodo foi o responsável pelo grande impacto da variável “Outros” no custo unitário total da ETE. Foi verificado que, para a ETE Canasvieiras, localizada em bacia cuja população se eleva nos períodos de veraneio, os custos operacionais diminuem com o acréscimo de vazão, havendo influências da sazonalidade.

Ainda segundo Trennepohl (2016), que também avaliou os custos de operação em estações de tratamento de água, a prestação de serviço de tratamento de esgoto sanitário tem maior custo, relativo ao volume tratado, para as companhias de saneamento, quando comparada à potabilização da água nas ETAs.

A TABELA 3.14 apresenta um resumo dos dados de custos operacionais, em R\$/m³, na bibliografia consultada, onde foram avaliados diferentes processos de tratamento. Os dados estão atualizados para a data base de Janeiro de 2017.

TABELA 3.14: Resumo dos custos operacionais encontrados na revisão bibliográfica (R\$/m³ - Jan/2017)

	Hernández-Sancho e Sala-Garrido (2009)	Rodriguez-Garcia et al (2011)	Von Sperling (2016)	Von Sperling (2014)	Sampaio e Gonçalves (1999)	Baptista e Rodrigues (2014)	Brostel, Neder e Souza (2001)	Trennepohl (2016)
Mínimo	-	0,24	0,56	0,05	0,30	0,47	0,28	0,80
Máximo	-	1,50	2,78	1,27	0,30	1,83	4,95	0,80
Média*	2,73 / 1,43**	0,79	1,43	0,34	0,30	0,98	1,49	0,80
Mediana	-	0,79	1,32	0,25	0,30	0,95	1,03	0,80
<u>Energia</u> Média (%)	0,37 / 0,18** (13%/12%)	0,21 (26%)	0,14 (10%)	-	0,06 (20%)	-	0,22 (15%)	0,26 (33%)
<u>Pessoal</u> Média (%)	1,14 / 0,59** (42%/41%)	0,28 (35%)	0,38 (27%)	-	0,12 (41%)	-	1,12 (75%)	0,21 (26%)
n (tamanho da amostra)	338	24	13	-	1	38 (7)***	12	2
Região / País	Espanha	Valência / Espanha	Brasil	Brasil	São Paulo / Brasil	Espírito Santo / Brasil	Distrito Federal / Brasil	Santa Catarina / Brasil

*O desvio padrão não foi informado nos trabalhos. **Médias das ETEs com índices de eficiência menor e maior, respectivamente, do que a média da amostra geral. *** Valores de mínimo, máximo, média e mediana referem-se ao valores dos 7 agrupamentos apresentados pelos autores (TABELA 3.12), que foram calculados com base em 38 ETEs.

3.6 Estudos de viabilidade

Os estudos de viabilidade econômica devem levar em consideração os custos de implantação para cada etapa da ETE e os custos anuais de operação (ao longo do tempo), por um período de 20 a 25 anos e trazidos para o valor presente, de forma a se verificar o custo total a valor presente. Dentre os custos de implantação, destacam-se: custos de construção (incluindo equipamentos e instalações); aquisição da terra/área; custos de projeto e de fiscalização; juros dos empréstimos no período de construção. Já para os custos anuais, devem-se considerar: juros dos empréstimos; pagamento anual para recuperação de capital; depreciação dos ativos; seguros dos ativos; e os custos de operação e manutenção. Porém, a alternativa final a ser adotada deve considerar as maiores vantagens do ponto de vista técnico, econômico, e ambiental, devendo-se buscar o apoio da população local a fim de se viabilizar a implantação do projeto de forma mais rápida e harmoniosa (VON SPERLING, 2008) (JORDÃO e PESSOA, 2014).

Corroborando a afirmativa anterior, Von Sperling (2014) lembra que, ainda que o lado econômico seja fundamental, deve-se lembrar que nem sempre a melhor alternativa é simplesmente a que representa menor custo em estudos econômico-financeiros, sendo que não há fórmulas generalizadas para definição dos processos e o bom senso para se atribuir a importância relativa de cada aspecto técnico é essencial. O autor apresenta uma comparação entre aspectos de importância na seleção dos sistemas de tratamento para países desenvolvidos e em desenvolvimento. Nos primeiros, os fatores críticos são eficiência, confiabilidade, disposição do lodo e requisitos de áreas. Já nos países em desenvolvimento, apesar de esses itens também serem importantes, possuem menos magnitude, sendo que os fatores críticos são os custos de implantação, operação, sustentabilidade e simplicidade operacional.

As análises econômicas dos projetos justificam os investimentos do ponto de vista de escassez de recursos e economias de capital e trabalho. O principal objetivo da avaliação econômica dos projetos de infraestrutura de saneamento é determinar se os benefícios à comunidade serão maiores do que os gastos incorridos à economia nacional. Para isso, deve-se analisar outros fatores específicos como os impactos sociais, ambientais e os benefícios não calculados (atividades recreacionais pagas; criação de empregos; custo evitado com a construção de tanques sépticos; valorização do turismo e de imóveis); saúde (redução nas taxas de mortalidade; aumento na expectativa de vida; custo evitado com medicamentos); meio ambiente (redução de odores, redução de danos ambientais, estética, proteção da biodiversidade). A utilização destes benefícios do saneamento como índices é uma poderosa ferramenta de decisão para a priorização e viabilização da implantação dos sistemas. (VUCIJAK; CERIC, 2010) (RASHID; HAYES, 2011).

Molinos-Senante, Hernandez-Sancho e Sala-Garrido (2010) afirmam que a análise de custo-benefício, ferramenta sistemática e racional, é um dos instrumentos econômicos mais difundidos e aceitos pelas empresas. E defendem a sua utilização na gestão dos recursos hídricos, que tem uma perspectiva multidisciplinar, uma vez que as diretrizes europeias vêm dando ênfase em pesquisas econômicas para desenvolvimento e implementação de políticas de gestão de recursos hídricos. Brostel, Neder e Souza (2001) também defendem que outros critérios deveriam ser analisados, como o uso e ocupação do solo, capacidade de reduzir o efeito estufa com a fixação de carbono, como nas lagoas, e integração como o meio, destacando os

sistemas alagados construídos, que podem atrair uma variedade de espécies de animais e plantas. Todavia os autores ainda não vislumbraram a utilização prática destes critérios.

A fim de se ampliar as variáveis nos estudos de viabilidade, Ribeiro et al. (2015) propõe a valoração econômica dos recursos ambientais, em um estudo de caso em cinco áreas de preservação ambiental do Rio de Janeiro. Os autores afirmam que a determinação de tais valores não é uma tarefa fácil, já que este processo depende da valoração monetária deste recurso em relação aos outros bens e serviços disponíveis na economia. Todavia, esta valoração econômica vem se tornando um componente importante na gestão de empresas, influenciando nas decisões administrativas, principalmente em perícias ambientais e na determinação de multas por crimes ambientais. Os autores propuseram a determinação dos seguintes valores:

- Valor de Uso Direto de um recurso ambiental, que é calculado a partir de possíveis atividades de extração e venda de elementos pertencentes à Unidade de Conservação (espécies animais e vegetais de valor comercial). Também são contemplados neste cálculo a valoração imobiliária da área como, por exemplo, a área total do terreno, as edificações existentes, além de objetos de decoração, como: estátuas, bancos, chafarizes, etc;
- Valor de Uso Indireto, que é derivado das funções do ecossistema, como por exemplo: proteção do solo, estabilidade climática, preservação de mananciais e etc. Este cálculo varia principalmente em relação ao tamanho do terreno e do tipo de ecossistema;
- Valor de Opção, que calcula as atividades não gratuitas, que são realizadas no local e quanto elas rendem anualmente. Incluem-se também neste cálculo as potenciais atividades comerciais que poderiam ser implantadas na área.

Em outros trabalhos, (MOLINOS-SENANTE, HERNÁNDEZ-SANCHO e SALA-GARRIDO, 2011; MOLINOS-SENANTE, HERNÁNDEZ-SANCHO e SALA-GARRIDO, 2010), analisaram projetos de implantação de 13 e 22 ETEs na Espanha, respectivamente, para reutilização dos efluentes e concluíram que apenas alguns projetos eram viáveis. Porém, com a utilização dos “preços-sombra”, para valoração dos benefícios não mensuráveis, todos os projetos se tornaram viáveis.

Diante da dificuldade de se mensurar os custos do impacto do lançamento de efluentes, Vanrolleghem *et al.* (1996) propuseram a criação de um índice de performance, baseados em funções de custos, para auxílio na tomada de decisão sobre a concepção e ampliação das ETEs. Nesta mesma linha, Leoneti, Oliveira e Oliveira (2010) propuseram a utilização da teoria do equilíbrio de Nash na escolha dos processos de tratamento, para solucionar o conflito entre a eficiência, critérios ambientais e o custo nas escolhas das estações de tratamento. Tal teoria preconiza que quando o resultado encontrado for a melhor resposta possível de cada parte envolvida (custos do tratamento, eficiências de remoção, condicionantes ambientais), considera-se que foi encontrado o equilíbrio de Nash. Utilizando-se desta técnica, os autores concluíram que os sistemas combinados de reatores seguidos de lagoas foi o que mais alcançou o equilíbrio de Nash, para mil cenários diferentes. Tal resultado seria diferente se fossem considerados apenas os critérios econômicos ou de eficiência.

Já Queiroz, Souza e Bortolini (2015) propõem uma outra metodologia para identificação de necessidade de investimentos. Os autores afirmam que o saneamento é caracterizado por ter um mercado monopolizado, cuja estrutura de rede fixa possui elevado capital imobilizado em ativos específicos e de custos irrecuperáveis, o que demanda uma intensidade elevada de capital para realização dos investimentos. Adicionalmente existe um déficit significativo de cobertura dos serviços, o que eleva ainda mais a necessidade de recursos. Com isso propõe a estimação dos investimentos necessários para universalização dos serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário sob uma perspectiva ampla, consistindo na multiplicação de uma matriz de demandas por uma matriz de custos, para a obtenção de uma matriz de valores de investimentos.

Os estudos de viabilidade devem levar em consideração as diferentes possibilidades de concepção do sistema, avaliando-se os recursos disponíveis e, também, as condições geomorfológicas, hídricas e sociais existentes. Como exemplo ter-se-ia a possibilidade de centralização do tratamento de esgotos, com ganhos de escala, ou o contrário, com a utilização de pequenas ETEs dispersas, com redução de gastos com infraestrutura.

Neste contexto, Eggimann, Truffer, e Maurer (2016) afirmam que a determinação do grau de centralização ótimo para os sistemas de esgotamento é uma tarefa complexa, pois os custos gerais de uma região dependem não somente dos custos de todas as tecnologias individuais, mas também como eles são espacialmente distribuídos. Para as ETEs centralizadas, apesar de

que os custos per capita diminuem com o aumento da quantidade de pessoas atendidas, os custos para construir grandes sistemas de esgotamento, cada vez mais distantes, pode se mostrar desvantajoso. Já as ETEs descentralizadas não dependem, no geral, do número de ligações conectadas, porém, o gerenciamento e a manutenção podem se tornar importantes gastos nesse tipo de sistema, em especial os gastos com transporte, de equipes e lodo. Os autores concluíram que, para regiões pouco adensadas, há pouca eficiência econômica, tanto para as ETEs centralizadas, quanto para as descentralizadas.

Massoud, Tarhini e Nasr (2009) afirmam que a centralização/concentração do tratamento de esgotos é onerosa tanto para construir quanto para operar, especialmente em áreas com baixa densidade populacional e imóveis dispersos, sendo que a coleta representa mais de 60% dos custos de implantação de um sistema de esgotamento centralizado em comunidades com baixa densidade populacional. Em países em desenvolvimento faltam recursos tanto para a construção e a expertise técnica para gerir e operar tais sistemas. Alternativamente, os sistemas descentralizados são uma solução de longo prazo, menos onerosa e mais confiável para sistemas dispersos. Os autores defendem que a efetividade dos sistemas descentralizados depende de uma gestão adequada, com vistorias e manutenção adequadas; defendem ainda que deve haver uma gestão centralizada para sistemas descentralizados.

Brostel, Neder e Souza (2001) realizaram uma análise comparativa de ETEs no Distrito Federal, que, por diferentes condicionantes ambientais, têm processos distintos. A avaliação teve uma abordagem mais ampla, levando em conta questões de sustentabilidade ambiental e simplicidade operacional, aliadas aos tradicionais critérios de eficiência econômica e operacional. Nesta abordagem, os processos mais simples (lagoas de estabilização, lagoas em associação com reatores UASB e disposição no solo) tiveram uma performance melhor em relação aos processos mecanizados. Todavia os processos mecanizados apresentaram razoável desempenho operacional global (em termos de custos operacionais e remoção de poluentes), demonstrando que mesmo estações mais complexas podem apresentar índices compatíveis com boa performance operacional.

Molinos-Senante et al (2012), com base no desafio para as autoridades europeias de melhoria no tratamento de esgotos em comunidades pequenas (de 2000 a 5000 habitantes), elaboraram uma série de equações para o cálculo dos custos de implantação e operação de diferentes processos de tratamento de esgoto. Os autores verificaram que, em relação ao custo equivalente

total, a aeração prolongada foi o sistema mais caro, enquanto o sistema de lagoas foi o mais barato e os biorreatores de membrana foram os únicos capazes de tratar efluentes com grande carga orgânica e de nutrientes e lançar os efluentes em áreas sensíveis. Nas análises econômicas a possibilidade de reuso de efluente foi crucial nos estudos de viabilidade de algumas unidades.

Já Brunner e Starkl (2012) defendem que, em localidades rurais, onde for constatada a possibilidade de centralização do tratamento (e não por fossas), uma forma de viabilizar a operação seria o investimento na construção das ETEs pelo governo e a construção das redes e ligações de esgoto pela própria comunidade, com a união dos moradores. Corroboram Tonetti *et al.* (2010), afirmando que o Brasil enfrenta problemas com o saneamento nas áreas rurais e defendem a utilização de sistemas simplificados, de baixo custo, onde a população seria responsável pela sua operação e construção, tendo como base estudo com a associação de filtro anaeróbio com filtros de areia.

Em uma comparação entre duas tecnologias, sendo uma ETE em escala real com lagoas de estabilização e outra em escala piloto com wetlands de fluxo subsuperficial horizontal, Mburu *et al.* (2013) concluíram que ambos os sistemas tiveram média a alta remoção de matéria orgânica e sólidos suspensos, mas lagoas tiveram melhor remoção de fósforo e amônia. Em contrapartida, a área requerida para as lagoas foi de 3 vezes a área do wetlands. Os custos totais anuais de capital, operação e manutenção foram parecidos, todavia os custos de capital foram largamente influenciados pelo tamanho da população atendida, custo local de terra e material de construção envolvido.

Yengejeh, Davideh e Baqeri (2014) em um estudo de alternativas para três tecnologias diferentes (SBR – reatores de batelada sequencial; Ludzak-Ettinger Modificado – MLE; Valas de Oxidação) e com base nos padrões de lançamento da organização de conservação ambiental do Iran, verificaram que os menores custos de construção são para o método MLE, processo que, além de eliminar matéria orgânica, também tem potencial para eliminar nutrientes. O processo se mostra ainda menos sensível a mudanças bruscas de vazão (sazonalidade) e de temperatura, e ainda requer menos área e menos energia.

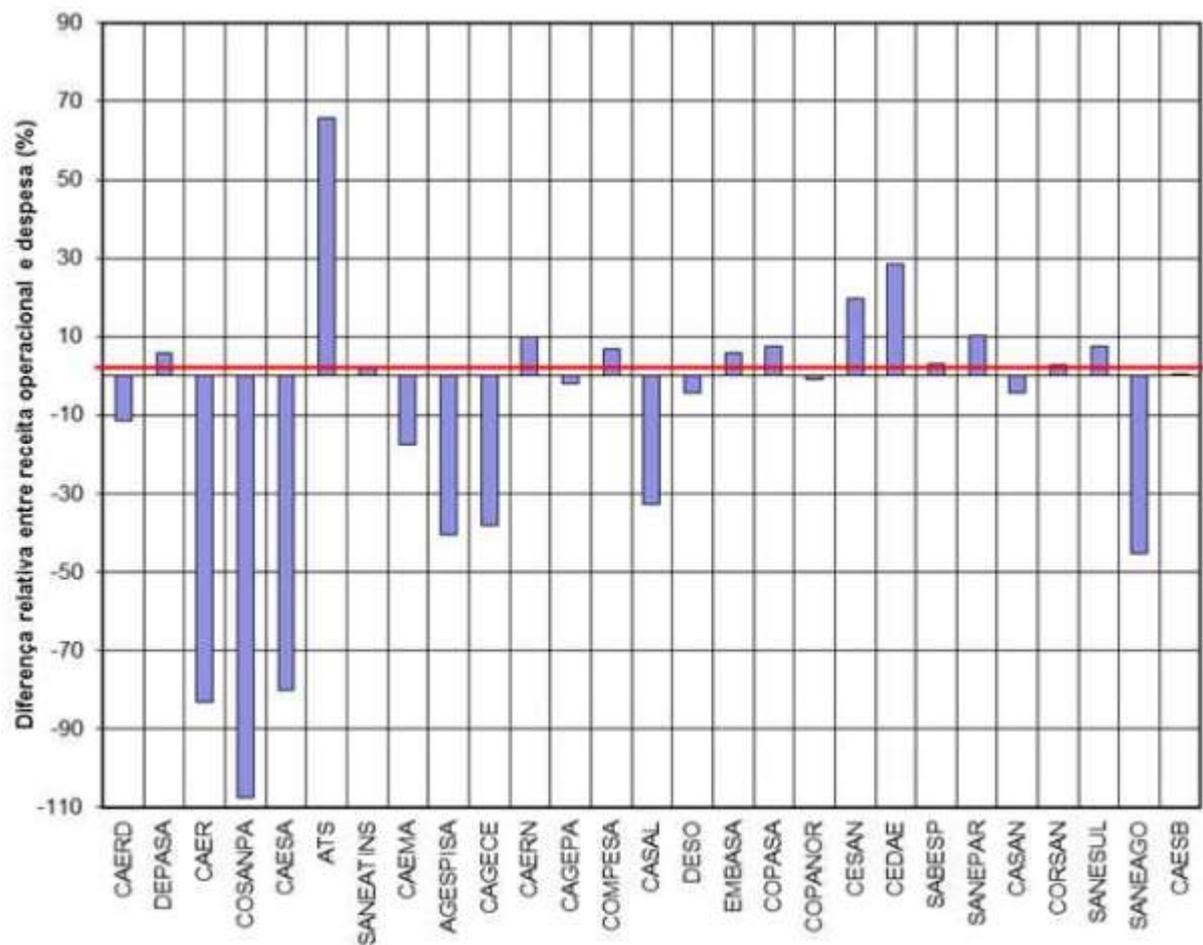
Na Indonésia, Kerstens, Leusbrock e Zeeman (2015) fizeram um estudo de viabilidade avaliando as performances de DBO, DQO, Nitrogênio, Fósforo e patógenos, além do consumo de energia, produção de lodo e potencial de recuperação de recursos. No trabalho foram

comparados os investimentos, custos operacionais, benefícios ambientais e o custo do ciclo de vida total e como resultado obteve-se que um aumento de 10 vezes nos preços de terra resultaram em custo do ciclo de vida total apenas 5 vezes maior, e um aumento de 4 vezes nos preços dos recursos recuperados correspondeu ao máximo de 1,3 vezes maior nos custos do ciclo de vida total. Tais resultados podem servir para tomadores de decisão antecipar o impacto de variações de preço de componentes em operações de longo termo.

Para pequenas comunidades, Silva e Nour (2005) apresentam a alternativa de se utilizar sistema de reatores compartimentados – anaeróbio/aeróbio, que apresentou a característica de estabilidade operacional necessária aos sistemas de baixo custo. Nessas comunidades Molinos-Senante *et al.* (2014) afirmam que os estudos atuais tendem a ser baseados em uma série de indicadores ao invés de proporcionar uma visão holística (global) e comparou a sustentabilidade global de sete ETEs de comunidades pequenas, onde verificou que o processo do tipo Wetlands é a tecnologia mais sustentável em cinco de sete cenários avaliados. Todavia, priorizando os fatores ambientais sobre os fatores econômicos as mais sustentáveis foram a aeração prolongada e o biorreator de membranas.

Jardim Júnior (2006) afirma que o estabelecimento de ações governamentais para o equacionamento da demanda dos serviços de saneamento e de proteção dos recursos hídricos é um tema de relevância nos países em desenvolvimento. O gerenciamento desses setores demanda um leque de iniciativas com dependência de dispêndio de recursos financeiros, quase nunca disponíveis em tempo desejável. Diante disso o autor propõe a etapalização da implantação das ETEs para equacionar esses recursos, principalmente onde os corpos receptores tem elevado poder de diluição. Como exemplo o autor cita a implantação de uma lagoa anaeróbia em primeira etapa, em segunda etapa lagoas facultativas e em terceira etapa lagoas de maturação e estabilização.

A importância dos estudos de viabilidade econômica no Brasil se destaca ainda mais ao se analisar a diferença relativa entre a receita operacional total e despesa total com os serviços dos prestadores de serviço regionais, participantes do SNIS (2014), onde nota-se que, em muitas companhias, as despesas são maiores do que as receitas. A FIGURA 3.3 apresenta um comparativo entre tal diferença, segundo prestador de serviços. A linha vermelha representa a relação média de toda a amostra, igual a 2,9% em 2014.



Fonte: BRASIL (2016)

FIGURA 3.3: Diferença relativa entre receita operacional e despesa total por prestadores de serviços de saneamento.

4. MATERIAL E MÉTODOS

O planejamento de uma pesquisa depende, além do nível de conhecimento e poder de discernimento do pesquisador, da natureza da pesquisa e das circunstâncias que cercam a situação a ser estudada. Diante disso é possível inferir que vários tipos de investigação e métodos podem ser utilizados para se obter e confrontar os resultados, sendo que a escolha quanto às formas de operacionalização das técnicas pode influenciar sobremaneira nas conclusões de um trabalho (OLIVEIRA, 2010).

Assim, diante dos objetivos inicialmente traçados, o presente estudo utilizou de métodos **quantitativos**, com análises de dados secundários de custos e parâmetros indicadores de 44 estações de tratamento de esgoto, de um único prestador estadual, da região sudeste do Brasil.

Neste ponto, cabe destacar que, uma vez que os dados de custos de tratamento podem ser, em alguns casos, considerados estratégicos e, conseqüentemente, sigilosos, para as empresas e companhias de saneamento, não será especificada a região de localização das ETEs ou a empresa que forneceu tais dados.

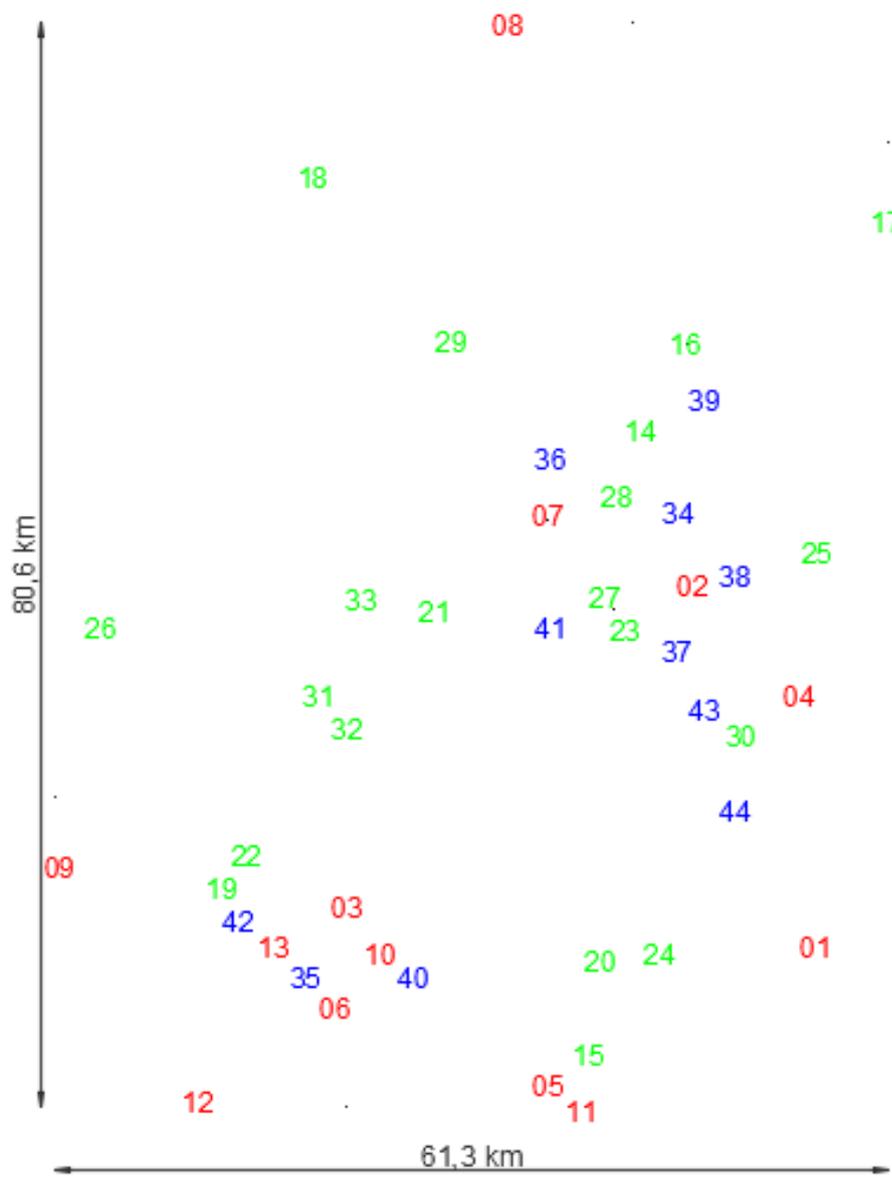
Foram realizadas análises estatísticas descritivas para comparação e correlação entre os dados, com a utilização de tabelas, gráficos de dispersão e “box-plot”, que mostram a variabilidade dos diferentes parâmetros a serem analisados.

4.1 Descrição geral dos dados

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. Este trabalho considera apenas a análise dos custos unitários relacionados à etapa de tratamento, incluindo as elevatórias integrantes dos processos e localizadas no interior das áreas das 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 dados de vazão de projeto, volumes de esgoto tratado por mês, eficiências de remoção de DBO e custos operacionais mensais, para o ano de 2016, com a operação de 44

estações de tratamento de esgoto, em uma região metropolitana, de um único prestador de serviços da região sudeste do Brasil. Por limitações metodológicas na coleta de dados não foram obtidos dados dos anos anteriores. Ressalta-se que todos os valores são retirados de programas computacionais que concentram os diferentes tipos de gastos, separados por classes de despesa (energia, pessoal, lodo...), para cada centro de custo (ETE), e permitem obter todos os dados de forma resumida. A FIGURA 4.1 apresenta a distribuição geográfica das 44 estações de tratamento de esgoto analisadas, onde os números denominam as respectivas ETEs, classificadas em ordem crescente de acordo com o equivalente populacional das mesmas.



Equivalente populacional: < 5.000 hab.; entre 5.000 e 50.000 hab.; > 50.000 hab.

FIGURA 4.1: Distribuição geográfica das 44 estações de tratamento de esgoto.

As eficiências de remoção de DBO foram obtidas a partir dos dados de monitoramento mensal das ETEs, onde tem-se as concentrações de DBO (mg/L) afluente e efluente e a carga orgânica removida no tratamento (kgDBO_r/dia).

O custo operacional total de cada estação é proveniente da soma de diferentes gastos, descritos a seguir:

- **Água:** custo com o abastecimento de água potável da estação, que pode ser utilizada para lavagem de unidades e equipamentos, consumo próprio dos operadores, irrigação ou, ainda, para suprir demanda de algum maquinário, como na dosagem de polímero a ser utilizado nas centrífugas de desidratação de lodo;
- **Energia elétrica:** gastos com pagamentos à concessionária pelo consumo de energia elétrica utilizada para equipamentos como bombas, sopradores, centrífugas e, também, para o suprimento da iluminação da área externa da ETE, bem como para os escritórios e laboratórios. Neste item destacam-se as ETEs que tem cogeração de energia, que reduz os gastos totais com energia da unidade;
- **Vigilância:** referentes aos valores gastos, através de contrato específico, com os serviços de vigia, diurno e noturno, nas unidades em que o serviço é necessário;
- **Serviços de manutenção e conservação:** compreende os gastos com manutenção das unidades, incluindo serviços de capina e poda das árvores e limpeza das partes internas das ETEs, além de serviços de telefonia;
- **Materiais de consumo e manutenção:** compreende os gastos com materiais de limpeza, materiais de laboratório, materiais de escritório e produtos químicos diversos utilizados (incluindo para condicionamento de lodo, em alguns casos), além de combustível dos veículos;
- **Pessoal:** custo com os salários dos funcionários do prestador de serviços, já com impostos e benefícios inclusos, vinculados às ETEs em que estão lotados. Ressalta-se que neste item não estão inclusos gastos com prestadores de serviços terceirizados, que entraram em outros itens. Nos gastos com pessoal destacam-se os salários de alguns engenheiros e supervisores, que coordenam serviços em várias ETEs e, no entanto, este custo não está rateado por todas as unidades atendidas, mas concentrado nas unidades em que estão lotados. É importante destacar, também, que há unidades com quadro de pessoal defasado, ou seja, em uma situação ideal, a equipe de funcionários responsável

pela unidade seria maior e, em consequência, os gastos com pessoal também seriam maiores, não sendo possível o levantamento das vagas em aberto. Porém, segundo repassado, a maioria das vagas em aberto se encontra nas ETEs maiores, que tem mais facilidade para cobrir essa demanda, sendo que os custos são mais diluídos e, portanto, acredita-se que essa diferença não tem impacto nos resultados finais;

- **Ordens de manutenção:** contém os gastos com manutenção de peças e equipamentos como bombas, raspadores, centrífugas e aeradores;
 - **Transporte de lodos:** compreende os serviços (medidos através de um contrato específico) de retirada do lodo das ETEs e o transporte até a destinação final, sendo esta, principalmente, aterro sanitário. Compreende também os gastos com caminhões hidrovácuo (também medidos através de contrato específico), que fazem a sucção do lodo de decantadores secundários (em algumas unidades de pequeno porte) e o transportam para outras ETEs, geralmente de maior porte. Com isso, vale ressaltar que nas ETEs onde o lodo é retirado e levado para outras maiores, os custos com o transporte do lodo até a destinação final das ETEs menores são contabilizado nas ETE maiores, uma vez que não é realizado controle individual para cada ETE. Também não foi repassada a relação de ETEs onde ocorre a sucção do lodo dos decantadores secundários ou para onde o lodo é levado. Cabe destacar, também, que neste item não está contabilizada a energia elétrica gasta com as centrífugas ou produtos químicos utilizados na desidratação de lodo, nas estações que se utilizam de tais processos. Por fim, é importante ressaltar que neste item não estão inclusas despesas com tratamento e nem a disposição final do lodo;
- Outros:** custos menores diversos e esporádicos como reparo de pneus, aquisição de peças e materiais para pequenas obras como concreto e areia.

Dentre os diferentes gastos, alguns são fixos e custeados de forma independente da quantidade de esgoto tratado, como os gastos com mão de obra, vigilância patrimonial e monitoramento ambiental. Outras despesas estão relacionadas diretamente ao volume de esgoto, tipo de tratamento e qualidade do efluente final desejada, com influências sobre os custos variáveis, como é o caso da energia elétrica, uso de água e produtos químicos, manutenção de obras civis e o transporte de lodo.

Destaca-se que os custos de monitoramento ambiental, relativos às análises laboratoriais do esgoto bruto e do efluente e cuja frequência e tipo de análise variam para cada ETE, conforme necessidade dos órgãos ambientais, estão concentrados nas ETEs que possuem laboratórios para tal, uma vez que ainda não é feita uma apropriação unitária precisa dos custos.

Para fins de análise, alguns dos itens listados foram agrupados, com as principais despesas mencionados na literatura pesquisada sendo apresentados em separado e os demais chamados, doravante, de “Demais gastos”, conforme apresentado na FIGURA 4.2.

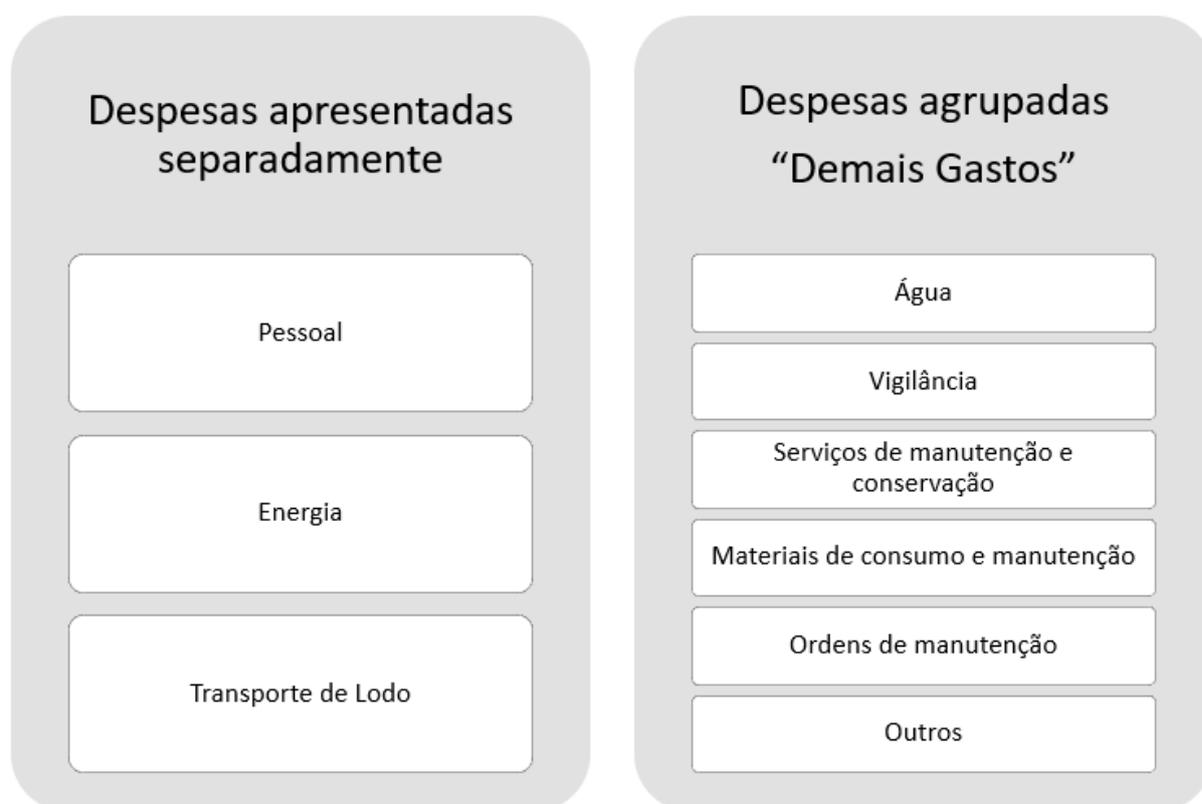


FIGURA 4.2: Diagrama dos custos e agrupamento de despesas.

A TABELA 4.1 apresenta as ETEs que foram analisadas.

TABELA 4.1: Estações de Tratamento de Esgoto analisadas.

<i>ETE</i>	<i>Processo de Tratamento</i>	<i>Vazão de Projeto (L/s)</i>	<i>EEE Final*</i>	<i>Distância até o aterro sanitário (km)</i>
1	UASB + Filtro Biológico Percolador	1		30
2	UASB + Disposição no solo	1,1	x	45
3	UASB	2,9		21
4	UASB	3,7		19
5	Fossa Filtro	4,3		25
6	UASB + Filtro Biológico Percolador	4,8	x	29
7	UASB + Filtro Biológico Percolador	5,3	x	37
8	UASB + Filtro Anaeróbio	5,4	x	87
9	UASB + Filtro Biológico Percolador	6	x	45
10	UASB	6	x	23
11	Fossa Filtro	6		25
12	UASB + Filtro Anaeróbio	7	x	40
13	Lagoa Facultativa	7,6		30
14	Lagoa Facultativa + Lagoa de Maturação	8,4		60
15	UASB + Filtro Biológico Percolador	9,5	x	37
16	UASB + Flotação	10	x	51
17	UASB + Filtro Biológico Percolador	10,7		65
18	UASB	10,7	x	70
19	UASB	13,4	x	30
20	UASB	17,2	x	28
21	Lagoa Facultativa	18,6		26
22	UASB	21	x	30
23	Lodos Ativados: Aeração Prolongada	21		27
24	UASB + Filtro Biológico Percolador	23,1		21
25	UASB + Filtro Biológico Percolador	29,9	x	31
26	UASB + Filtro Biológico Percolador	33,5	x	54
27	UASB + Filtro Biológico Percolador	35	x	28
28	UASB + Filtro Biológico Percolador	37,4	x	32
29	Lagoa Anaeróbia + Lagoa Facultativa	38,7		54
30	UASB	41,2	x	13
31	UASB + Lag. Facul. + Lag. Matur.	48,7	x	24
32	UASB + Filtro Biológico Percolador	68	x	21
33	UASB + Filtro Biológico Percolador	74	x	47
34	Lodos Ativados Aeração Prolongada	90	x	34
35	UASB + Lodos Ativados	98	x	24
36	UASB + Filtro Biológico Percolador	101		44
37	Lagoa Facultativa Aerada	110	x	30
38	UASB + Filtro Biológico Percolador	120	x	30
39	Lodos Ativados Aeração Prolongada	126	x	45
40	Lodos Ativados + Remoção de N e P e coliformes (UV)	140	x	25
41	UASB + Filtro Biológico Percolador	240	x	10
42	UASB + Lodos Ativados	500		30
43	UASB + Filtro Biológico Percolador	1800		22
44	Lodos Ativados Convencional	3375		13

* Unidades onde a estação elevatória de esgotos final está localizada no interior da área da ETE e cujos gastos com energia elétrica são contabilizados nas respectivas ETEs.

4.1.1 Indicadores para comparação dos resultados

Para comparação e apresentação dos resultados foram calculados diferentes indicadores.

4.1.1.1 Custo por m³ de esgoto tratado – R\$/m³

Com a divisão do custo total anual de cada item pelo volume tratado durante o ano foi calculado o custo por metro cúbico (m³) de esgoto tratado de cada item. A soma dos gastos de todos os itens, dividida pelo volume total tratado, resultou no custo unitário total de cada ETE (em R\$/m³), que foi utilizado para fins de comparação entre as unidades.

Este indicador foi calculado para a vazão afluyente real (no período de análise) e para a vazão de projeto de cada estação.

Posteriormente, para análise da ociosidade das estações, foi calculado o custo operacional, em R\$/m³ para a vazão de projeto das estações. Com isso, é importante frisar que, para o cálculo dos custos operacionais para a vazão de projeto, foi realizada a divisão dos gastos reais (atuais) pela vazão de projeto (futura) da ETE. Assim, os custos operacionais, quando as vazões afluentes às ETEs se igualarem às vazões de projeto, podem ser maiores do que os apresentados neste trabalho.

4.1.1.2 Custo por kg de DBO removida – R\$/kgDBOr

Foram obtidas as cargas orgânicas médias mensais, afluyente e efluente, de cada ETE em análise, sendo a carga orgânica removida resultado da subtração da carga orgânica afluyente pela carga efluente da estação. A partir da divisão do custo anual total da estação pela carga orgânica removida anualmente tem-se o custo unitário por quilo de DBO removida para cada ETE (R\$/kgDBOr).

4.1.1.3 Custo por habitante por ano – R\$/hab.ano

A partir da divisão do custo anual de cada estação pelo equivalente populacional da vazão que aportava às ETEs no período analisado (vazão real) foi obtido o indicador de custo por habitante por ano (R\$/hab.ano).

4.1.1.4 Índice de ociosidade - IO

Adicionalmente, foi utilizado, também, um índice de ociosidade das estações, representado pela diferença percentual entre a vazão média tratada e a vazão de projeto das ETEs, a fim de se comparar se a folga na capacidade de algumas estações tem algum impacto no seu custo operacional. O índice de ociosidade (IO) foi calculado pela seguinte equação:

$$IO = 1 - \left(\frac{Vazão\ Tratada}{Vazão\ Projeto} \right)$$

De acordo com a ociosidade as ETEs foram agrupadas conforme as seguintes premissas:

- ETEs não ociosas: estações onde o índice de ociosidade é menor ou igual a 40%, ou seja a vazão tratada está próxima da vazão de projeto ou capacidade nominal da ETE, totalizando 18 ETEs;
- ETEs ociosas: estações cujo índice de ociosidade calculado está acima de 40%, ou seja, ETEs em sub carga, totalizando 18 ETEs;
- ETEs em sobrecarga: estações com ociosidade negativa, ou seja, menor do que 0%, totalizando 08 ETEs.

4.2 **Agrupamento dos dados**

Para a análise dos dados as ETEs foram agrupadas por tipologia de tratamento, sendo divididas em quatro grupos, sendo:

- UASB / UASB + Pós: estações cujo processo de tratamento inclui reatores UASB seguidos ou não de pós tratamento, totalizando 30 ETEs. Destaca-se que as ETEs com processo de reatores UASB seguidos de sistemas de lodos ativados não foram incluídas neste grupo;
- Sistemas Aerados: estações cujo processo de tratamento incluem aeração com a função de auxiliar bactérias aeróbias no tratamento biológico dos esgotos, incluindo um sistema de lagoas aeradas, totalizando 08 ETEs. Destaca-se que, devido à pequena magnitude dos gastos com energia elétrica e devido à diferença na função da aeração, a ETE 16, cujo tratamento utiliza reator UASB seguido de tanque de flotação, foi incluída no agrupamento UASB / UASB + Pós.

- Sistema de Lagoas: compreende as ETEs que possuem sistemas de Lagoas como processo de tratamento, totalizando 04 ETEs;
- Outros: compreende as ETEs com processo de tratamento por fossa filtro (tanque séptico – filtro anaeróbio), totalizando 02 ETEs.

Também foi feito o agrupamento por porte ou capacidade instalada de tratamento. Aqui, vale destacar que, devido à necessidade de ampliação/complementação dos sistemas de coleta de esgoto de alguns municípios e sub bacias, ou ainda, implantação de ETEs para final de plano (superdimensionada para as vazões atuais), a vazão média tratada em algumas unidades foi muito inferior à capacidade de tratamento. Contudo, o agrupamento foi com base na capacidade de tratamento instalada da ETE, uma vez que o dimensionamento dos recursos das unidades é feito com base na sua capacidade instalada e, também, pelo fato de que a vazão tratada vem de um valor médio entre períodos de baixo e alto consumo, sendo que há períodos em que a vazão afluyente pode se aproximar da vazão nominal da ETE.

O cálculo do equivalente populacional de cada estação para o posterior agrupamento por porte foi realizado com base na seguinte fórmula:

$$Q_{méd} = \frac{P \cdot q \cdot R}{86.400} + Q_{inf}$$

Onde:

- $Q_{méd}$ = vazão de projeto da ETE;
- P= população atendida (hab);
- q= cota per capita (L/hab.dia);
 - Como as ETEs estudadas estão localizadas em diversos municípios com características distintas, foi adotado o valor médio de 150 L/hab.dia.
- R= coeficiente de retorno de água para esgoto;
 - Foi adotado o coeficiente de 0,80, recomendado pela NBR 9649 (ABNT, 1986).
- Q_{inf} = vazão de infiltração;
 - As infiltrações, além de dependerem muito do material empregado nas tubulações, dependem das condições do meio (nível do lençol freático, tipo de solo...). Usualmente a taxa de infiltração é calculada em função da extensão da rede de esgoto. Assim, devido à escassez de dados referentes às redes coletoras nas sub bacias das ETEs em estudo, foi adotado o percentual de infiltração de 20% da vazão média de esgoto .

Substituindo tais dados na equação, tem-se:

$$Q_{méd} = \frac{P \cdot 150 \cdot 0,80}{86.400} + 0,2 \cdot \frac{P \cdot 150 \cdot 0,80}{86.400} \therefore P = \frac{Q_{méd} \cdot 86.400}{150 \cdot 0,80 \cdot 1,2} = 600,0 \cdot Q_{méd}$$

Com isso, para cada 1,0 L/s de vazão de esgoto tem-se um equivalente populacional de 600 habitantes.

Para o agrupamento dos dados por porte de ETE, foram consultadas diversas referências, conforme listado a seguir:

- O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2017) caracteriza os municípios em: Pequeno Porte1 – até 20.000 habitantes; Pequeno Porte 2 – de 20.001 até 50.000 habitantes; Médio Porte – de 50.001 até 100.000 habitantes; e Grande Porte – de 100.001 até 900.000 habitantes. Com base nessa divisão e, adotando também como “Grande Porte” os municípios com população acima de 900.000 habitantes ter-se-ia a seguinte divisão de ETEs, respectivamente conforme os portes: 25; 8; 7; 4.
- A Deliberação Normativa nº 74 do Conselho Estadual de Política Ambiental do Estado de Minas Gerais – COPAM (2004) estabelece os seguintes portes para as estações de tratamento de esgoto: Pequeno – até 50 L/s (30.000 habitantes); Grande – acima de 400 L/s (240.000 habitantes); Médio – os demais. Com base nessa referência ter-se-ia a seguinte divisão de ETEs, respectivamente conforme os portes pequeno, médio e grande: 31; 10; 3.
- Araújo (2017), ao analisar o panorama das ETEs no Brasil, adotou outra premissa para os portes das estações: Pequeno – até 10.000 habitantes; Grande – acima de 100.000 habitantes; Médio – os demais. Com base nessa referência ter-se-ia a seguinte divisão de ETEs, respectivamente conforme os portes pequeno, médio e grande: 19; 21; 4.
- O Atlas dos Esgotos (BRASIL, 2017) divide os municípios em três faixas: até 50.000 habitantes; intermediária; e acima de 250.000 habitantes. Com base nessa referência ter-se-ia a seguinte divisão de ETEs, respectivamente: 33; 8; 3.
- Von Sperling (2016) fez uma análise do tratamento de esgotos no Brasil com base em uma série de faixas baseadas nos habitantes dos municípios: até 2.000; de 2.000 5.000; de 5.000 10.000; de 10.000 20.000; de 20.000 50.000; e acima de 100.000 habitantes. Com base nessa referência ter-se-ia a seguinte divisão de ETEs, respectivamente: 3; 10;

6; 6; 8; 7; 4. O autor reforça ainda que quase 50% das ETEs são para municípios com até 5.000 habitantes.

Dessa forma, tomando-se como referência a divisão de Von Sperling (2016) e buscando o equilíbrio do número de dados entre as faixas, foi considerada a premissa de que as ETEs de porte inferior compreendem aquelas cuja população equivalente chega até 5.000 habitantes; as ETEs de porte superior compreendem aquelas cuja população equivalente é acima de 50.000 habitantes e as ETEs de porte intermediário compreendendo as demais. Ressalta-se que divisão em apenas três faixas foi feita devido ao reduzido número de ETEs com dados disponíveis (44) e para se ter um número adequado de ETEs para análise em cada porte.

Assim, foi calculado o equivalente populacional de cada ETE e que, posteriormente, possibilitou o agrupamento das unidades nos seguintes portes:

- < 5.000 (porte inferior): estações cujo equivalente populacional de projeto (vazão nominal da ETE) é menor do que 5.000 habitantes – totalizando 13 ETEs;
- entre 5.000 e 50.000 (porte intermediário): estações cuja vazão nominal da ETE equivale a populações entre 5.000 e 50.000 habitantes – totalizando 20 ETEs;
- > 50.000 (porte superior): equivalente populacional de projeto é maior do que 50.000 habitantes – totalizando 11 ETEs.

A TABELA 4.2 apresenta o quantitativo de ETEs no agrupamento por portes, com o respectivo quantitativo de ETEs por tipologia.

TABELA 4.2: Quantitativo de Estações de Tratamento de Esgoto por porte.

Grupo	Tipologia	Número de ETEs	Vazão de Projeto (L/s) (menor-maior)
< 5.000 (13 ETEs)	Lagoas	1	8
	Outros	2	4-6
	UASB / UASB + Pós	10	1-7
Entre 5.000 e 50.000 (20 ETEs)	Lagoas	3	8-39
	Sistemas Aerados	1	21
	UASB / UASB + Pós	16	10-74
> 50.000 (11 ETEs)	Sistemas Aerados	7	90-3.375
	UASB / UASB + Pós	4	101-1.800

4.3 Correção cambial dos custos operacionais

Devido às variações cambiais ao longo do ano, os custos mensais obtidos foram padronizados para uma mesma data base através da utilização do Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo – IPCA, medido mensalmente pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, que é considerado o índice oficial de inflação do País.

O período de coleta do IPCA estende-se, em geral, do dia 01 a 30 do mês de referência, com pesquisas realizadas em estabelecimentos comerciais, prestadores de serviços, domicílios (para verificar valores de aluguel) e concessionárias de serviços públicos. São considerados nove grupos de produtos e serviços: alimentação e bebidas; artigos de residência; comunicação; despesas pessoais; educação; habitação; saúde e cuidados pessoais; transportes e vestuário. Eles são subdivididos em outros itens. Ao todo, são consideradas as variações de preços de 465 subitens. A população-objetivo do IPCA abrange as famílias com rendimentos mensais compreendidos entre 01 e 40 salários-mínimos, qualquer que seja a fonte de rendimentos, e residentes nas áreas urbanas das regiões. (IBGE, 2017).

Assim, foram obtidas as séries históricas dos índices de inflação, com os quais os custos mensais puderam ser **padronizados para a data base de Janeiro de 2017**, conforme TABELA 4.3, que apresenta o IPCA para os meses de Janeiro de 2016 a Janeiro de 2017 (IBGE, 2017) e os fatores multiplicadores, utilizados para padronização dos dados.

TABELA 4.3: IPCA e fator multiplicador para conversão para a data base de Janeiro/2017.

Mês	IPCA	Multiplicador para padronização
Janeiro-16	0,0127	1,06692
Fevereiro-16	0,0090	1,05354
Março-16	0,0043	1,04414
Abril-16	0,0061	1,03967
Mai-16	0,0078	1,03337
Junho-16	0,0035	1,02537
Julho-16	0,0052	1,02179
Agosto-16	0,0044	1,01651
Setembro-16	0,0008	1,01206
Outubro-16	0,0026	1,01125
Novembro-16	0,0018	1,00862
Dezembro-16	0,0030	1,00681
Janeiro-17	0,0038	-

4.4 Observações sobre os dados coletados

Como foram obtidos os dados mensais para o ano de 2016, foram calculadas e apresentadas as **médias** mensais das vazões tratadas, em L/s, e dos gastos, em R\$, para os parâmetros / despesas analisadas: energia elétrica, pessoal, transporte de lodo, água, vigilância, serviços de manutenção e conservação, materiais de consumo e manutenção e ordens de manutenção. O custo unitário de cada ETE, em R\$/m³, foi calculado com base na soma de todos os gastos no período de Janeiro a Dezembro de 2016, dividido pela soma dos volumes mensais tratados no mesmo período. Nos agrupamentos de dados, para comparação entre as ETEs, foi calculada a **mediana** dos valores das ETEs em cada grupo. A escolha pela mediana para comparação entre os grupos e entre as ETEs se deu pela grande diferença de porte e custo operacional das ETEs, uma vez que este dado estatístico não é influenciado por valores muito discrepantes.

Os dados foram separados por tipo de tratamento, vazão tratada e, como estão disponíveis os dados de todos os meses do ano de 2016, foi verificada se há diferenças devido à sazonalidade com o apoio de gráficos de séries temporais e correlação entre os dados. Com isso, os custos por m³ de esgoto tratado foram comparados em diversas situações distintas, através de análises estatísticas (verificação de *outliers*, teste de Kruskal-Wallis e Dunn para comparação entre as medianas dos diferentes agrupamentos, e testes de correlação, sendo utilizado o coeficiente de correlação linear de Spearman - r_s). Os resultados foram comparados com a bibliografia encontrada.

4.4.1 Confiabilidade dos dados coletados

Os dados repassados são provenientes de um software de gestão empresarial, que integra todos os departamentos da empresa e através do qual são processados os pagamentos diversos a serem realizados, como a remuneração de funcionários, medições de contratos em vigência e pagamentos à concessionária de energia. A integração deste software com outras áreas da empresa reduz a possibilidade de erros humanos no lançamento dos dados, uma vez que um lançamento inconsistente iria impactar outra área.

Porém, um erro que por ventura poderia ocorrer seria a alocação errada de recursos, por exemplo, lançamento de horas de caminhões limpa fossa ou serviços de vigilância em uma ETE onde os serviços não foram realizados.

Outros fatores que poderiam distorcer os resultados são apresentados a seguir.

4.4.1.1 Despesas com Pessoal

Um fator que pode ter distorcido o parâmetro “Pessoal” é a defasagem no quadro de empregados, onde os funcionários necessários, mas que ainda não haviam sido contratados, não tiveram seus gastos contabilizados; e, também, a prestação de serviços de funcionários para ETEs diferentes das que estão lotados, por motivos quaisquer da necessidade operacional, mas que distorcem a realidade dos custos operacionais. Assim, as ETEs que tinham o quadro de empregados defasado ou que operaram em 2016 com funcionários cedidos de outras unidades apresentaram menores despesas com pessoal do que se tivessem o quadro completo.

Há também os funcionários que prestam serviços a mais de uma unidade como alguns engenheiros, supervisores e equipes de manutenção eletromecânica e que estão lotados em ETEs maiores, consideradas polos, não havendo rateio entre as unidades, o que onera os custos nas ETEs em que estão lotados e reduz o custo com pessoal nas ETEs para as quais prestam serviços. Todavia, devido à magnitude das vazões nas ETEs onde estão lotados, o rateio ponderado deste custo entre as ETEs menores iria ter pouca influência no resultado final.

4.4.1.2 Despesas com Energia Elétrica

Nos custos de energia elétrica estão consideradas algumas elevatórias de esgoto que estão localizadas no interior das áreas das ETEs e com o mesmo padrão de energia da estação, sem a possibilidade de dividir tais gastos. Assim, sistemas que, pelo processo de tratamento empregado, não necessitariam de gastos com energia elétrica, apresentaram despesas com energia que podem ser devido às elevatórias localizadas no interior da área da ETE.

4.4.1.3 Gestão de lodo

A gestão do lodo inclui os processos de desidratação, transporte e tratamento / destinação final deste subproduto do tratamento de esgoto. Porém, neste trabalho só estão contabilizados os gastos referentes ao transporte do lodo para a destinação final.

Ao final do processo de secagem / desaguamento o lodo é disposto em caçambas / containers que são transportados para destinação final em aterro sanitário. Este serviço de transporte de caçambas é realizado através de contrato específico, sendo remunerado por tonelada

transportada por quilômetro. Este mesmo contrato faz o transporte dos resíduos sólidos e da areia removidos no tratamento preliminar para o aterro sanitário, não havendo diferenciação da remuneração por lodo ou por resíduos do tratamento preliminar.

Há, também, contrato para prestação de serviços de sucção, por meio de caminhões hidrovácuo, do lodo de decantadores secundários em ETEs menores e o transporte para outras ETEs, onde o lodo é desaguado e levado à destinação final através do contrato de transporte de caçambas. A remuneração dos caminhões hidrovácuo é realizada por hora trabalhada, sendo realizado o rateio pelo tempo gasto em cada unidade. O rateio das horas de caminhão entre as ETEs também pode ser um ponto de distorção dos valores.

Porém, é importante destacar que a empresa fornecedora dos dados também faz o serviço de transporte de lodo e resíduos para o aterro sanitário e a sucção do lodo com caminhões e equipe próprias, o que pode causar distorção nos resultados, uma vez que os valores gastos com combustível, hora dos funcionários e manutenção dos caminhões não são contabilizados neste item de transporte de lodo.

Outro ponto a se destacar é que os produtos químicos, a energia elétrica despendida no desaguamento de lodo e os funcionários empregados na operação das centrífugas não são contabilizados em separado, sendo seus gastos diluídos em outras despesas. E para a destinação final ou recebimento do lodo pelo aterro sanitário não foram apresentados os gastos.

Diante disso, neste trabalho, no item “Transporte de Lodo”, estão inclusos apenas os gastos com o contrato de caçamba e o contrato de caminhões hidrovácuo.

4.4.1.4 Laboratórios e monitoramento

Há um laboratório central para análises de qualidade do esgoto afluente e efluente das estações. Este laboratório está localizado na maior ETE e seus gastos (produtos químicos, pessoal...), estão contabilizados nesta ETE o que pode elevar o custo total da unidade.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Avaliação dos dados

A TABELA 5.1 apresenta o resumo dos dados coletados e calculados e os processos de tratamento de cada uma das ETEs; vazões de projeto e vazões tratadas; equivalente populacional calculado; tempo de operação; grupos de tratamento e de equivalentes populacionais; índices de ociosidade; gastos médios mensais para os parâmetros analisados; custos por metro cúbico de esgoto tratado; custos por quilo de DBO removida; e os custos por habitante por ano de cada estação.

Com relação aos dados da TABELA 5.1 cabe ressaltar:

- ETE 01: iniciou sua operação em Julho/2016;
- ETE 13: operou, durante o ano de 2016, com operadores de outras ETEs devido ao desligamento de funcionários. Dessa forma, o custo com os operadores está contabilizado em outras ETEs;
- ETE 16: operou utilizando-se sistema de UASB + Flotação somente até o mês de Outubro de 2016, a partir de quando operou apenas com reatores UASB;
- ETE 18: iniciou sua operação em Junho/2016;
- ETE 25: iniciou sua operação em Junho/2016;
- ETE 41: encerrou sua operação em Fevereiro/2016;
- ETE 44: esta estação de tratamento possui sistema de cogeração de energia que, segundo informações repassadas, produz um terço do consumo de energia da ETE. Assim os valores percentuais dos gastos com energia não condizem ao total de energia gasto com o tratamento.

TABELA 5.1: Resumo dos dados utilizados no trabalho e processos de Tratamento e vazões para as ETEs analisadas, organizadas em ordem crescente de vazão de projeto.

ETE	Processo de Tratamento	Grupo de Tratamento	Tempo Oper. em Jan. 2017 (anos)	Eq. Pop. Real (hab)	Eq. Pop. Proj. (hab)	Eq. Proj. Grupo	Vazão Proj. (L/s)	Vazão Real (L/s)	Eficiência (%)	Eficiência (grupos)	ET-DBO (%)	Custo operacional ETE/m³	Dados mensais - R\$ (Jan 2017)										Custo Proj.	Custo Real	RSU Subst. (hab. Vazão real)	RSU / kg DBO
													Dados mensais / m³ de esgoto tratado (grupos percentuais)													
													Preval	Res. TSS/SSA	Qualidade de Lodo	Vigilância	Agua	Serv. Aliment. Conv.	Serv. Aliment. Conv.	Outros	Outros	Outros				
1	CASB - Filtr. Biológico Percolada	CASB / UASB + Fila	0,4	612	608	< 2.000	1,00	1,02	2%	Sobrecarga	84%	31.132	4.902,81	504,82	0,00	0,00	36,64	11,62	15,43	16,48	0,00	2,48	2,42	83	35,73	
2	UASB - Despolimento	CASB / UASB + Fila	3,2	818	606	< 2.000	1,31	1,42	-16%	Sobrecarga	97%	154.236	12.734,39	0,00	0,00	0,00	31,99	0,00	10,88	36,12	0,00	4,47	2,39	84	19,78	
3	UASB	CASB / UASB + Fila	10,1	1.747	1.732	< 2.000	2,92	2,91	0%	Não ociosa	62%	187.396	10.847,10	190,00	337,96	4.286,88	62,72	0,00	36,59	1,37	0,00	2,96	2,87	87	6,18	
4	UASB	CASB / UASB + Fila	11,1	959	1.098	< 2.000	3,05	1,68	36%	Outras	87%	232.186	12.628,46	438,21	362,36	3.558,88	143,87	37,41	8,89	32,05	0,00	2,05	4,87	242	22,88	
5	Fossa Filtros	Outras	6,7	959	1.098	< 2.000	4,34	1,18	62%	Outras	67%	62.278	3.046,31	0,00	0,00	0,00	0,00	32,81	66,63	0,00	0,00	0,44	1,26	45	8,11	
6	CASB - Filtr. Biológico Percolada	CASB / UASB + Fila	0,8	1.491	1.880	< 2.000	4,80	6,15	14%	Não ociosa	84%	144.228	10.945,36	326,39	199,01	0,00	32,11	-1,28	82,14	208,56	0,00	0,97	1,12	89	2,89	
7	CASB - Filtr. Biológico Percolada	CASB / UASB + Fila	0,7	1.484	1.170	< 2.000	5,25	2,81	47%	Outras	89%	95.747	7.092,14	783,04	114,39	0,00	11,57	-18,08	17,61	263,90	0,00	0,60	1,18	89	21,78	
8	UASB - Filtr. Anoxicos	CASB / UASB + Fila	0,7	598	1.248	< 2.000	5,40	1,00	82%	Outras	93%	98.278	1.443,38	1.088,20	1.196,55	0,00	41,83	16,28	78,23	284,81	0,00	0,39	2,14	84	7,98	
9	CASB - Filtr. Biológico Percolada	CASB / UASB + Fila	0,2	3.820	1.600	< 2.000	6,00	6,17	-4%	Sobrecarga	81%	222.422	22.277,20	1.401,79	904,31	0,00	95,79	-11,53	118,68	274,60	0,00	1,73	1,62	84	4,80	
10	UASB	CASB / UASB + Fila	3,2	3.040	1.600	< 2.000	6,00	3,07	16%	Não ociosa	77%	307.318	18.798,48	398,18	181,40	3.558,88	43,34	268,80	133,27	90,86	-1,04	1,03	1,08	81	5,40	
11	Fossa Filtros	Outras	6,1	2.834	1.624	< 2.000	6,06	6,72	-22%	Não ociosa	51%	163.041	13.328,24	0,00	78,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,87	1,11	88	7,99	
12	UASB - Filtr. Anoxicos	CASB / UASB + Fila	5,6	1.020	4.200	< 2.000	7,00	1,71	76%	Outras	96%	189.738	14.089,11	497,44	0,00	0,00	14,81	-96,29	41,44	95,59	0,00	0,92	2,76	88	10,24	
13	Lagoa Facultativa	Lagoas	0,2	3.412	4.500	< 2.000	7,60	3,69	25%	Não ociosa	80%	15.798	0,00	308,81	66,88	3.558,88	11,79	0,00	130,42	4,84	0,00	0,30	6,42	11	1,79	
14	Lagoa Facultativa + Lagoa de Maturação	Lagoas	32,7	3.451	3.864	entre 2.000 a 50.000	8,44	9,75	-32%	Não ociosa	87%	46.908	3.281,13	66,23	0,00	0,00	0,00	0,00	42,89	87,87	0,00	0,21	6,37	19	1,14	
15	CASB - Filtr. Biológico Percolada	CASB / UASB + Fila	0,2	10.912	1.700	entre 2.000 a 50.000	8,30	18,19	-61%	Sobrecarga	80%	563.902	47.112,48	2.098,84	3.856,89	0,00	774,14	-12,18	38,11	213,98	0,00	1,00	1,08	82	2,14	
16	UASB + Flotação	CASB / UASB + Fila	11,0	6.747	6.000	entre 2.000 a 50.000	10,00	14,52	-46%	Sobrecarga	68%	683.148	44.528,10	3.914,52	477,96	0,00	191,79	25,40	1.826,96	406,97	0,00	2,07	1,42	74	13,14	
17	CASB - Filtr. Biológico Percolada	CASB / UASB + Fila	1,2	6.062	6.414	entre 2.000 a 50.000	10,49	10,10	8%	Não ociosa	86%	95.837	6.776,42	232,68	3.113,00	0,00	13,14	0,00	208,06	33,97	0,00	0,29	6,82	16	1,42	
18	UASB	CASB / UASB + Fila	0,7	1.235	6.414	entre 2.000 a 50.000	10,49	2,06	81%	Outras	73%	81.118	10.920,26	331,34	33,79	0,00	4,31	0,00	233,67	0,00	0,00	0,43	2,18	66	7,52	
19	UASB	CASB / UASB + Fila	5,4	5.468	3.240	entre 2.000 a 50.000	10,40	8,34	19%	Não ociosa	76%	422.724	42.338,28	1.351,85	302,14	0,00	314,56	0,00	115,21	108,04	0,00	1,08	1,48	75	6,65	
20	UASB	CASB / UASB + Fila	16,6	4.862	10.100	entre 2.000 a 50.000	11,28	8,18	13%	Outras	81%	385.238	22.728,04	1.704,86	808,19	3.558,88	485,93	999,99	218,06	173,68	0,00	0,72	1,62	79	6,99	
21	Lagoa Facultativa	Lagoas	35,6	12.561	11.100	entre 2.000 a 50.000	18,40	20,94	-13%	Sobrecarga	83%	397.688	32.176,04	446,49	44,83	2.326,51	194,47	-25,01	143,18	39,16	0,00	0,26	6,48	24	2,92	
22	UASB	CASB / UASB + Fila	12,5	4.198	12.400	entre 2.000 a 50.000	21,80	16,10	10%	Outras	83%	183.182	12.251,19	1.491,64	311,34	0,00	440,14	-4,29	190,91	188,09	0,00	0,28	6,54	29	2,14	
23	Linha Adv. de Anoxia + Lagoa de Maturação	Sistemas Anoxicos	11,2	19.221	12.400	entre 2.000 a 50.000	21,80	32,04	-51%	Sobrecarga	96%	724.484	44.043,70	14.081,14	36,43	0,00	412,24	1.256,64	318,44	347,81	0,00	1,12	6,72	39	2,85	
24	CASB - Filtr. Biológico Percolada	CASB / UASB + Fila	6,8	10.861	13.872	entre 2.000 a 50.000	25,12	16,70	-19%	Sobrecarga	87%	194.748	41.963,49	0,00	1.084,29	0,00	1.265,12	-18,51	276,68	221,28	0,00	0,80	6,91	27	6,22	
25	CASB - Filtr. Biológico Percolada	CASB / UASB + Fila	0,7	18.184	17.922	entre 2.000 a 50.000	26,87	16,91	43%	Outras	87%	382.028	27.344,72	4.381,93	556,26	0,00	0,00	-4,69	433,13	87,80	0,00	0,81	6,79	24	5,48	
26	CASB - Filtr. Biológico Percolada	CASB / UASB + Fila	3,2	1.722	20.088	entre 2.000 a 50.000	30,48	6,21	81%	Outras	91%	628.940	43.231,10	4.024,94	1.502,12	0,00	8,45	-16,14	36,19	463,65	0,00	0,60	3,26	68	10,03	
27	CASB - Filtr. Biológico Percolada	CASB / UASB + Fila	2,1	28.594	21.000	entre 2.000 a 50.000	35,00	14,32	2%	Não ociosa	84%	486.751	45.141,77	3.304,13	1.088,29	0,00	1.685,20	0,00	142,56	368,68	0,00	0,81	6,48	24	2,36	
28	CASB - Filtr. Biológico Percolada	CASB / UASB + Fila	6,1	17.225	22.414	entre 2.000 a 50.000	37,36	18,71	22%	Não ociosa	87%	514.218	42.753,42	7.116,18	1.084,81	0,00	1.327,21	0,00	189,12	156,04	0,00	0,64	6,08	36	2,88	
29	Lagoa Anoxicos + Lagoa Facultativa	Lagoas	18,2	14.214	21.196	entre 2.000 a 50.000	38,06	23,76	19%	Não ociosa	89%	238.722	14.480,48	484,93	0,00	3.558,88	380,21	0,00	31,22	0,00	0,00	0,20	6,12	17	0,96	
30	UASB	CASB / UASB + Fila	2,8	5.451	24.720	entre 2.000 a 50.000	41,28	9,08	78%	Outras	83%	422.414	41.834,06	2.090,16	23,28	0,00	109,69	0,00	273,12	236,06	0,00	0,81	1,28	76	4,89	
31	UASB + Lag. Facul. + Lag. Matur.	CASB / UASB + Fila	2,1	5.333	26.214	entre 2.000 a 50.000	48,09	8,19	82%	Outras	89%	533.931	44.645,28	1.388,89	475,46	0,00	0,00	1.838,81	444,60	1.006,12	0,00	0,81	1,00	88	5,17	
32	CASB - Filtr. Biológico Percolada	CASB / UASB + Fila	8,8	12.893	40.200	entre 2.000 a 50.000	48,00	54,49	-22%	Não ociosa	89%	1.461.274	83.974,79	27.288,44	8.312,75	3.558,88	3.386,09	4.026,81	11.496,41	1.381,41	78,00	0,69	6,96	45	3,07	
33	CASB - Filtr. Biológico Percolada	CASB / UASB + Fila	1,8	26.714	44.400	entre 2.000 a 50.000	58,00	44,51	48%	Não ociosa	80%	498.438	49.621,70	49.465,13	6.969,22	1.816,15	1.109,26	2.708,68	3.418,19	892,27	0,00	0,40	6,36	24	2,11	
34	Linha Adv. de Anoxia + Lagoa de Maturação	Sistemas Anoxicos	17,4	17.848	54.000	> 50.000	60,00	63,08	10%	Não ociosa	92%	2.485.536	120.904,67	40.195,64	8.007,48	0,00	2.448,22	10.294,07	14.800,27	1.231,52	492,77	0,99	1,34	76	4,21	
35	UASB + Linha Adv. de Anoxia	Sistemas Anoxicos	5,8	12.222	58.200	> 50.000	66,00	22,54	79%	Outras	96%	811.088	44.179,49	22.966,08	2.121,71	0,00	1.134,75	1.768,86	473,67	1.144,38	0,00	0,30	1,42	74	2,78	
36	CASB - Filtr. Biológico Percolada	CASB / UASB + Fila	1,8	10.860	40.400	> 50.000	101,00	18,17	82%	Outras	92%	163.436	21.338,27	7.581,80	386,02	0,00	0,00	0,00	1.094,76	344,97	0,00	0,12	6,66	23	2,98	
37	Lagoa Facultativa Anoxia	Sistemas Anoxicos	11,6	42.871	46.000	> 50.000	110,00	10,12	36%	Não ociosa	87%	877.876	45.026,42	41.131,09	402,81	0,00	111,97	1.811,79	1.128,27	475,71	0,00	0,29	6,48	22	2,61	
38	CASB - Filtr. Biológico Percolada	CASB / UASB + Fila	4,4	39.868	72.000	> 50.000	126,00	36,43	38%	Outras	89%	187.133	93.185,98	11.897,11	2.284,84	0,00	0,00	0,00	403,82	784,22	0,00	0,20	6,48	22	2,19	
39	Linha Adv. de Anoxia + Lagoa de Maturação	Sistemas Anoxicos	18,5	22.428	75.400	> 50.000	126,00	37,76	78%	Outras	80%	113.140	41.886,51	34.373,61	824,76	0,00	1.055,09	-28,56	972,90	418,76	0,00	0,18	6,61	22	2,71	
40	Linha Adv. de Anoxia + Lagoa de Maturação + Lagoa de Maturação (LTO)	Sistemas Anoxicos	1,3	37.974	84.000	> 50.000	148,00	43,29	55%	Outras	96%	1.798.327	47.291,28	62.961,21	1.128,84	0,00	1.180,12	4.344,19	6.788,66	1.295,91						

A FIGURA 5.1 apresenta a mediana e a média do custo por m³ de esgoto tratado para os diferentes agrupamentos realizados neste trabalho.

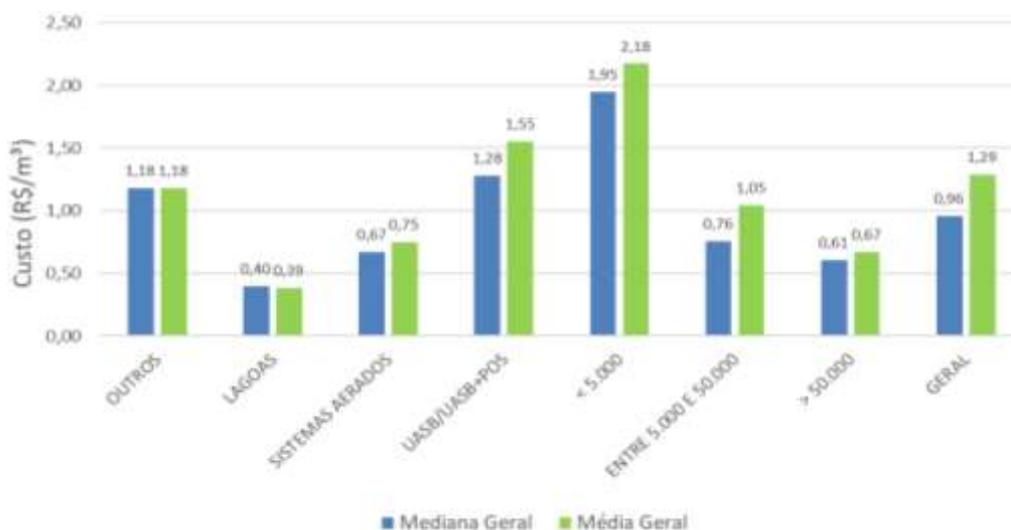


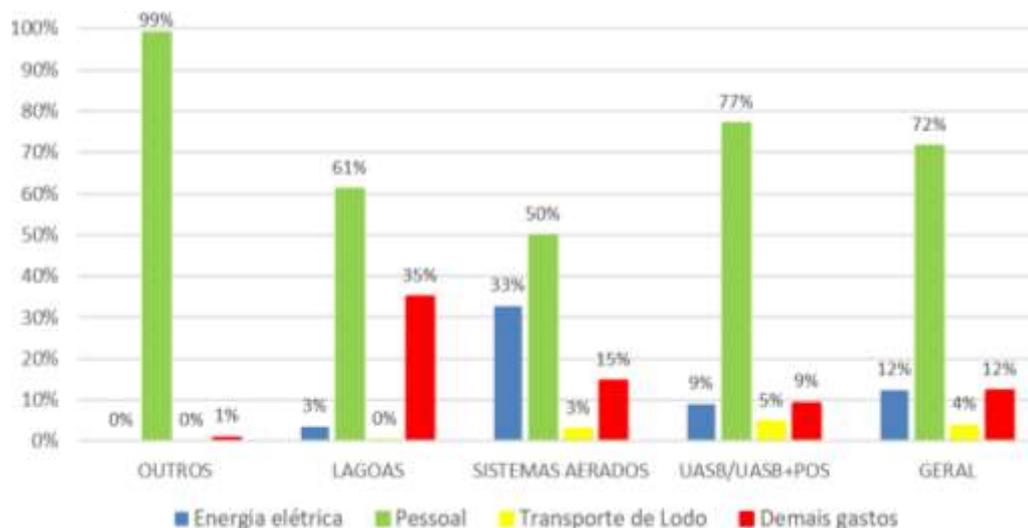
FIGURA 5.1: Medianas e médias dos gastos com a operação de 44 ETEs para os agrupamentos de porte e processo de tratamento.

Nota-se que a mediana geral, de R\$ 0,96/m³, está próxima aos valores encontrados por Brostel, Neder e Souza (2001), de R\$ 1,03/m³, e Baptista e Rodrigues (2014), de R\$ 0,95/m³. O valor está abaixo dos R\$ 1,32/m³ encontrados por Von Sperling (2016) e dos R\$ 2,73/m³ e R\$ 1,43/m³ encontrados por Hernández-Sancho e Sala-Garrido (2009), porém, acima dos R\$ 0,30/m³ apresentados em Sampaio e Gonçalves (1999), R\$ 0,80/m³ de Trennepohl (2016) e R\$ 0,79/m³ de Rodriguez Garcia et al (2011). Todavia, ressalta-se que o estudo dos autores que encontraram medianas abaixo da mediana dos custos operacionais deste trabalho utilizaram ETEs com equivalente populacional acima de 50.000 habitantes. Ao se analisar apenas o agrupamento das ETEs de porte superior (> 50.000) verifica-se mediana abaixo dos valores encontrados por Trennepohl (2016) e Rodriguez Garcia et al (2011). Já Sampaio e Gonçalves (1999) pesquisaram uma única estação, com processo de lodos ativados convencional e com vazão afluente de 3.910 L/s. Pela TABELA 5.1, comparando-se com a ETE 44, de porte e processo similares, nota-se que o custo operacional encontrado neste trabalho, R\$ 0,17/m³, foi inferior.

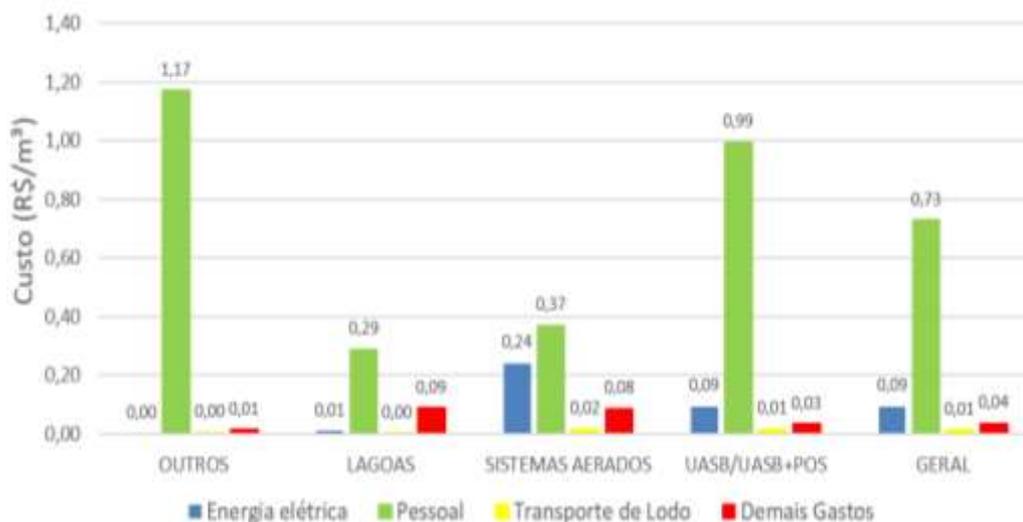
5.1.1 Agrupamento de Processos de Tratamento

A FIGURA 5.2 apresenta os gastos médios percentuais nas ETEs e as medianas dos custos operacionais (em R\$/m³), divididos por agrupamentos de processos de tratamento. Para

facilidade de visualização, os gastos com “Serviços de Manutenção e Conservação”; “Ordens de Manutenção”; “Materiais de Consumo e Manutenção”; “Água”; “Vigilância”; e “Outros” foram compilados e denominados “Demais gastos”.



(a) Gastos médios percentuais



(b) Medianas dos gastos operacionais (R\$/m³)

FIGURA 5.2: Gastos com a operação de 44 ETEs – Processos de tratamento.

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) (75%) e às despesas com pessoal nas empresas de saneamento participantes do SNIS 2014 (63%), porém, maior do que o valor encontrado por Von Sperling (2016) (27%) e Trennepohl (2016). Este parâmetro, inclusive, representa quase a totalidade dos gastos com tratamento de esgoto em algumas ETEs. As exceções se configuram pela ETE 13, que operou durante o ano de 2016

com funcionários cedidos de outras unidades e a ETE 44, que teve grande representatividade dos “Demais Gastos”. Porém, ao contrário do que fora 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). Tal redução nos gastos proporcionais com pessoal é devida ao aumento nos gastos com energia elétrica. Para as ETES maiores, 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%).

Analisando-se a FIGURA 5.2, subgrupo Outros, nota-se que os gastos do sistema de tratamento por Fossa Filtro são quase que exclusivamente com “Pessoal”, com um percentual reduzido de gastos com “Serviços de Manutenção e Conservação” (1%) e “Materiais de Consumo e Manutenção” (1%) para a ETE 05. Mas aqui, cabe destacar que esperava-se algum gasto com “Transporte de Lodo”, porém, como não foi repassado o controle de gastos por ETE com caminhões limpa fossa, para sucção e limpeza, tal gasto não foi contabilizado no montante final das ETES geradoras e podem ter sido contabilizados nas ETES onde o lodo é destinado.

No subgrupo Lagoas, chama a atenção a representatividade dos “Demais gastos”, com média de 35% do montante total gasto com as Lagoas, que podem ser explicados pelos custos com serviços de vigilância, necessários em algumas estações que tem incidência recorrente de vandalismo. Outro ponto que impactou na média dos “Demais gastos” para o subgrupo Lagoas foi o fato de que a ETE 13 operou, no ano de 2016, com operadores de outras ETES, sendo que não foram contabilizados gastos com “Pessoal”, o que fez com que os “Demais gastos” desta ETE somassem 91%. Quanto ao “Transporte de Lodo”, como em 2016 não houve remoção de lodo das lagoas, não houve gastos com o transporte do lodo.

Ainda pela mesma FIGURA 5.2, nota-se que a média de gastos com o “Transporte 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). Tal fato pode ser explicado, pois, uma vez que a maioria das ETES mais afastadas tem processos do tipo UASB/UASB+Pós, 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, onde as ETEs mais afastadas tem maior representatividade dos gastos com transporte do lodo, como pode ser visto na FIGURA 4.1, pelas nas ETEs 08 (14,6%), 15 (12,7%) e 17 (24,2%).

Tal fato também pode explicar, parcialmente, a diferença entre os percentuais de gastos com o transporte de lodo nas duas maiores ETEs, sendo uma com sistema de tratamento por Lodos Ativados (ETE 44) e outra com reatores UASB seguidos de pós tratamento (ETE 43). Na primeira, os gastos com lodo foram de 7% do total e, na segunda, foram de 30%, diferente do esperado, sendo que, pela literatura, os sistemas de lodos ativados produzem mais lodo do que os sistemas compostos por reatores anaeróbios. Todavia, a ETE 44 está mais próxima (quase a metade da distância) do aterro sanitário do que a ETE 43. Outro fator que impactou nessa grande diferença é a geração de lodo na ETE 43 ser maior do que a literatura, onde os decantadores tem descarte contínuo com a centrífuga funcionando de forma ininterrupta. Contribui a isso o fato de, por dificuldades operacionais, não haver recirculação de lodo para os reatores UASB, conforme fora previsto em projeto.

Outros valores que chamam a atenção quanto ao transporte de lodo são os 0,1% para a ETE 23 e os 1,4% para a ETE 39, sendo ambas com processo de lodos ativados com aeração prolongada. Questionada, a empresa fornecedora dos dados respondeu que a ETE 39 estava muito ociosa e não produz um volume muito grande de lodo e que o lodo da ETE 23 é levado, após adensamento, para a ETE 34. Esse é um fator que pode ter distorcido os dados, sendo que algumas ETEs estão sem custo para tratamento e destinação final do lodo, principalmente nas ETEs menores, cujo sistema de tratamento é composto, em sua maioria, por ETEs anaeróbias. E, em diversas dessas ETEs o lodo é levado para outra unidade para tratamento e destinação final.

Ainda sobre o “Transporte do Lodo”, cabe destacar que, para uma análise mais precisa seria necessário entender a logística existente, com a relação das ETEs que tem o lodo levado para outras e de quanto é gasto nesse transporte, além das distâncias de cada uma até o aterro sanitário. Tem-se ainda que, neste item, não está contabilizada a energia elétrica gasta com as centrífugas ou produtos químicos utilizados na desidratação de lodo, nas estações que se utilizam de tais processos.

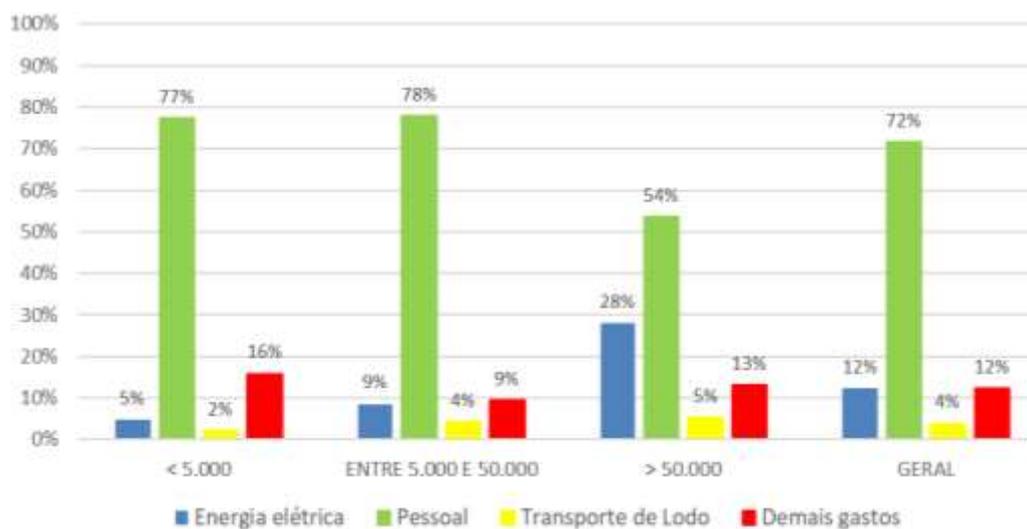
Os sistemas aerados, como esperado, tiveram os gastos com “Energia Elétrica” muito representativos no montante final (33% na média geral), com destaque para a ETE 37, com processo do tipo Lagoas, porém, aeradas, diferente das outras três Lagoas em análise. Todavia, neste caso específico, as lagoas nessa ETE são aeradas devido a problemas de maus odores, o que justifica o alto consumo energético. Os gastos com energia nos sistemas de reatores UASB seguidos ou não de pós tratamento, que representaram 9% do total, são devidos a elevatórias de retorno de lodo, recirculação e de elevação do afluente até o nível dos reatores UASB e, também, pelas centrífugas para adensamento do lodo, presentes em algumas unidades. A média dos gastos com energia das ETEs com sistemas de Lodos Ativados após o UASB foi ligeiramente inferior (31% contra 33%) à média dos sistemas aerados. Na média geral, os gastos com energia elétrica (12%) estão próximos aos gastos com energia das prestadoras de serviços de saneamento participantes do SNIS 2014 (11%).

Os sistemas compostos por reatores UASB, seguidos ou não de pós tratamento, não evidenciaram nenhum gasto preponderante, sendo que há ETEs onde o consumo de energia foi maior (nesta afirmação não foram consideradas as ETEs compostas por reatores UASB seguidos de sistemas aerados, que teriam um consumo maior de energia) e outras onde o “Transporte do Lodo” foi o segundo gasto de maior impacto, atrás dos gastos com “Pessoal”. O consumo de energia nas ETEs com sistema anaeróbio pode ser explicado pelas estações elevatórias de esgoto usualmente presentes na chegada dos esgotos e, sobretudo, em estações onde o processo de desidratação do lodo se dá por centrífugas.

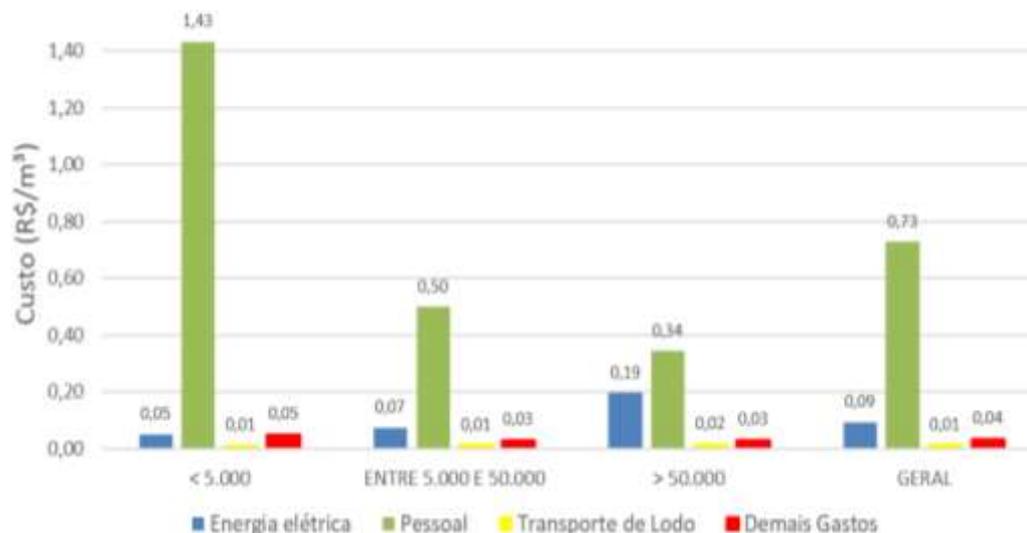
5.1.2 Agrupamento por Equivalente Populacional

A FIGURA 5.3 apresenta os gastos médios percentuais nas ETEs e as medianas dos custos operacionais (em R\$/m³), divididos por agrupamentos de equivalente populacional, onde pode-se perceber similaridades entre as ETEs com equivalente populacional menor do que 5.000 habitantes e entre 5.000 e 50.000 habitantes, cujos percentuais de gastos ficaram próximos. Em ambos os grupos, os gastos com o “Transporte de Lodo” foram pouco expressivos (< 5%), com diversas estações sem custo algum com o lodo, o que pode ser explicado pelo fato da destinação do lodo de algumas ETEs menores estar inclusa dentro de ETEs maiores. Por outro lado, e de acordo com o verificado por Friedler e Pisanty (2006), nota-se que a estratificação dos custos operacionais aumentou conforme a vazão e o nível do tratamento aumentaram, sendo que nas

ETEs maiores (> 50.000 habitantes) o “Transporte do Lodo” teve o maior percentual de todos os agrupamentos (5%), provavelmente pelo maior volume, e os gastos com “Energia Elétrica” foram de 28%. A média dos gastos com energia nas ETEs maiores foi afetada pelo baixo valor da ETE 43 (UASB/UASB+Pós – 6%) e, provavelmente, também foi afetada pelo sistema de cogeração de energia da ETE 44, que disfarça o consumo real de energia com o tratamento.



(a) Gastos médios percentuais – equivalente populacional



(b) Medianas dos gastos operacionais (R\$/m³)

FIGURA 5.3: Gastos com a operação de 44 ETEs – Equivalente populacional.

Os “Demais Gastos” foram representativos em todos os grupos, com os itens mais impactantes, na maioria dos casos, sendo os serviços de vigilância, em especial nas ETEs 03, 04 e 10, com equivalente populacional inferior a 5.000 habitantes, onde os serviços de vigilância

representaram quase um terço dos gastos na ETE. As exceções se dão pelas ETEs 43 e 44, que possuem laboratórios centrais para realização de análises, além de demandarem mais manutenção devido à complexidade dos equipamentos e, ainda, por possuírem centrífugas que demandam a adição de polímeros ao processo, refletindo os altos custos com “Materiais de Consumo e Manutenção”, respectivamente 17% e 20%. Outra exceção é a ETE 16, que utiliza produtos químicos no tratamento, onde o custos com materiais foram de 22% do total mensal gasto no tratamento. Outro fator de impacto foi o consumo de água, elevado em ETEs que tem centrífugas para a desidratação de lodo, que utilizam de água potável no processo. A ETE 13 também teve um gasto expressivo com vigilância (88%), porém, esta ETE não teve gastos com pessoal, o que pode ter distorcido a representatividade deste serviço

Destaca-se que os serviços de vigilância são necessários devido ao risco constante de furtos, onde são visados 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 da estação. A vigilância tem o intuito, também, de coibir o vandalismo e depredação que ocorre em algumas unidades.

Porém, nota-se que há serviços de vigilância mesmo em ETEs com sistemas simplificados de tratamento, como é o caso da ETE 21, que utiliza uma Lagoa Facultativa no processo e onde há um gasto anual em torno de R\$ 60 mil mensais com vigias. Apesar de haver componentes elétricos na possível estação elevatória da ETE, que necessitam de segurança para se manterem operando, é intuitivo pensar que reforços na proteção destes equipamentos como cercas elétricas, grades ou sistemas ainda mais robustos, como câmeras, sensores de presença e alarmes, devem ser estudados em substituição aos vigias.

A FIGURA 5.4 apresenta um resumo das ocorrências de furtos nos últimos 7 anos, porém, cabe apontar que, mesmo com os serviços de vigilância, ainda ocorrem furtos em algumas ETEs, o que reforça o argumento de reforçar a segurança das ETEs.

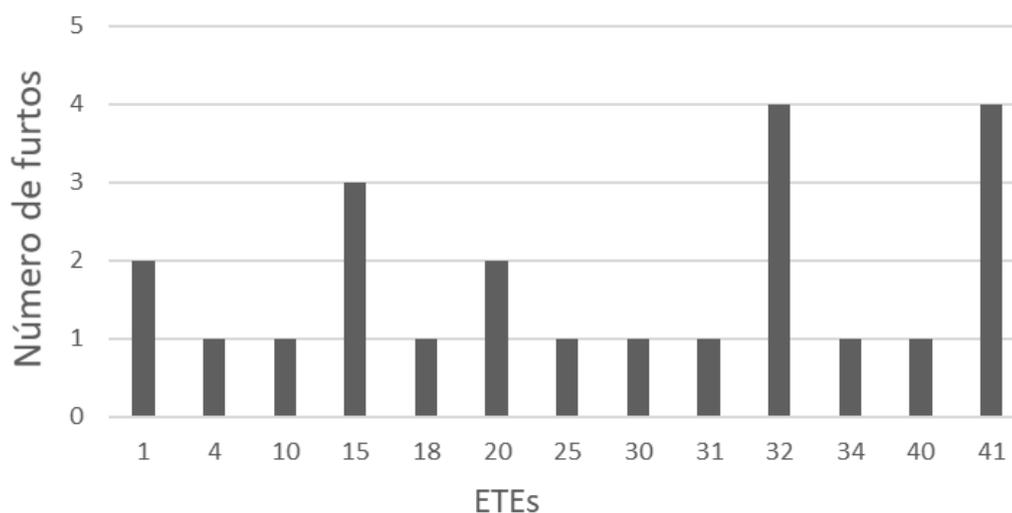


FIGURA 5.4: Ocorrências de furtos nas ETEs nos últimos 7 anos

5.1.3 Considerações sobre os gastos com “Pessoal”

Uma vez que o maior gasto das ETEs foi com o pagamento de funcionários foram realizados questionamentos à empresa fornecedora dos dados com o objetivo de aumentar o embasamento sobre a alocação dos recursos humanos e o desenvolvimento das atividades pelos funcionários.

O quadro de funcionários das ETEs é composto de Operadores, Supervisores e Engenheiros, onde os Supervisores são responsáveis pela coordenação dos operadores e os Engenheiros responsáveis pela coordenação do tratamento como um todo e pela qualidade final do efluente. Os Supervisores e Engenheiros são responsáveis por um número maior de ETEs, já os operadores são, na maioria dos casos, responsáveis por uma única estação.

O Operador de ETE é responsável por todo o processo de tratamento da estação e realiza as seguintes atividades: limpeza de grades, desarenadores e poço de sucção das elevatórias; desobstrução de tubulações e caixas de distribuição de vazão; controle operacional da estação, através do registro de dados operacionais (vazão afluente, consumo de água e energia elétrica, vazão de biogás gerado, volume de lodo descartado para leito de secagem ou desidratação mecânica, peso de lodo enviado para aterro sanitário, peso de resíduos sólidos grosseiros retidos no tratamento preliminar); descarte de lodo; limpeza de leito de secagem; desobstrução de braços distribuidores rotativos; limpeza de decantadores secundários e primários; descarte e

retorno de lodo secundário; manutenção predial das unidades (pintura e varrição, mais usualmente, e capina e roçada, em alguns casos, pois tais serviços são realizados através de contrato específico); acionamento das equipes de manutenção eletromecânica; execução de manobras operacionais visando a manutenção da eficiência do processo de tratamento. Além disso, os operadores são responsáveis pela coleta, duas vezes por dia, nos horários de 09:00h e 15:00h, de amostras de esgoto bruto e tratado, onde são realizadas análises de pH afluente e de sólidos sedimentáveis do afluente e do efluente final, sendo que em alguns casos são realizadas análises também do efluente dos reatores UASB. Em algumas ETEs também são realizadas análises de oxigênio dissolvido no esgoto efluente e tratado.

Aqui, vale ressaltar, conforme fora mencionado na Metodologia, que os custos foram repassados de forma bruta, e os gastos com cada funcionário foram atribuídos às ETEs onde estão lotados e não onde realmente atuam. Dessa forma, pode haver funcionários que trabalham em uma ETE, porém, com os custos atribuídos a outra, o que pode causar distorções no custo operacional de uma unidade. Da mesma maneira, tem-se os custos dos Engenheiros e Supervisores, que foram concentrados na ETEs em que estão lotados, porém, prestam serviços para outras ETEs e não é feito o rateio de tempo e custo entre as unidades. Neste último caso as distorções podem ser menores, pois, como são lotados em ETEs maiores, a concentração dos custos operacionais é mais diluída e, como são apenas 03 Engenheiros para as 44 ETEs, lotados nas três maiores ETEs, a divisão rateada deste custo para as demais ETEs teria pouco impacto. Ressalta-se, também, o fato de que, segundo repassado, o quadro de pessoal das ETEs como um todo estava defasado, o que também pode causar distorções nos custos operacionais. Porém, não foi repassada a relação de vagas em aberto ou quais e quantas seriam as ETEs que estavam deficitárias em termo de funcionários.

Quanto às equipes necessárias, foi repassado que, em ETEs maiores há pelo menos 04 operadores de processo em escala de revezamento e pelo menos 02 operadores para desidratação mecânica. Quando há secagem térmica há mais operadores. Já nas ETEs menores, há unidades sem operador fixo (quando próximas a unidades maiores, com mais operadores), com apenas 01 operador e algumas com pelo menos 02 operadores. Há três escalas de trabalho, sendo uma com dois turnos (diurno e noturno), com 04 operadores que se revezam em turnos de 12 horas, onde cada empregado trabalha dois dias seguidos e folga nos dois dias seguintes, sempre iniciando às 07:00h e terminando às 19:00h no primeiro turno e iniciando às 19:00h

com término às 07:00h no turno noturno. Na segunda opção há a escala onde os operadores trabalham apenas no período diurno, sendo 02 empregados revezando em turnos de 07:00h às 19:00h e uma terceira escala onde há apenas um operador no horário de 08:00h às 17:00h, que é utilizada apenas em casos específicos.

Ou seja, na maioria das ETEs a equipe mínima necessária são dois funcionários, o que onera sobremaneira o tratamento, inclusive em sistemas simplificados. Isso mostra a dificuldade de viabilização dos sistemas de esgotamento, em especial para sistemas isolados, pertencentes a prefeituras municipais.

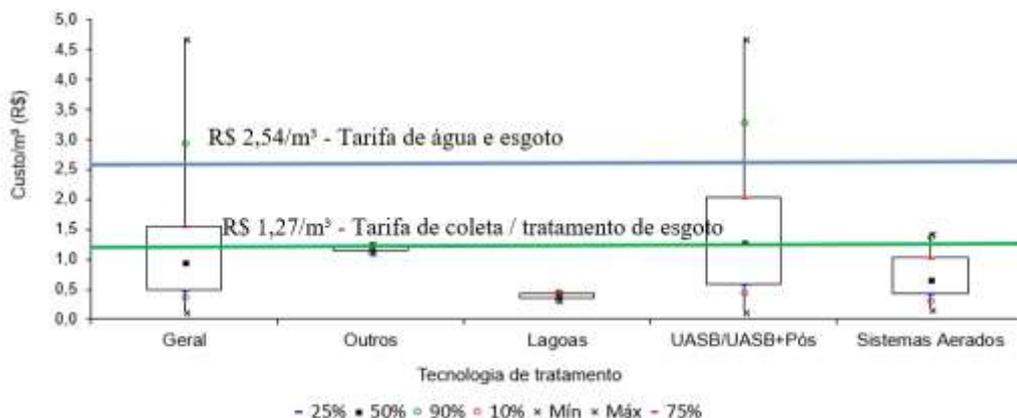
O monitoramento dos efluentes das ETEs, exigido pelo órgão ambiental, deve ter, no geral, uma frequência mensal, podendo ser maior, dependendo do porte da estação, e menor, em poucos casos específicos. E uma vez que capina e poda são realizados por contratos específicos para esse fim, cogita-se a hipótese de redução do número de funcionários, com a criação de equipes volantes, que ficariam lotadas em um polo e prestariam serviços de limpeza de grades em várias ETEs ao longo do dia. Tal medida, para ser otimizada, poderia ser acompanhada de sistemas de telemetria, para acompanhamento à distância de paradas e problemas na estação. No caso de prefeituras, seria interessante a criação de consórcios para operação das estações, de forma a dividir o custo melhorar o acompanhamento com uma gestão única.

5.2 Avaliação dos custos operacionais

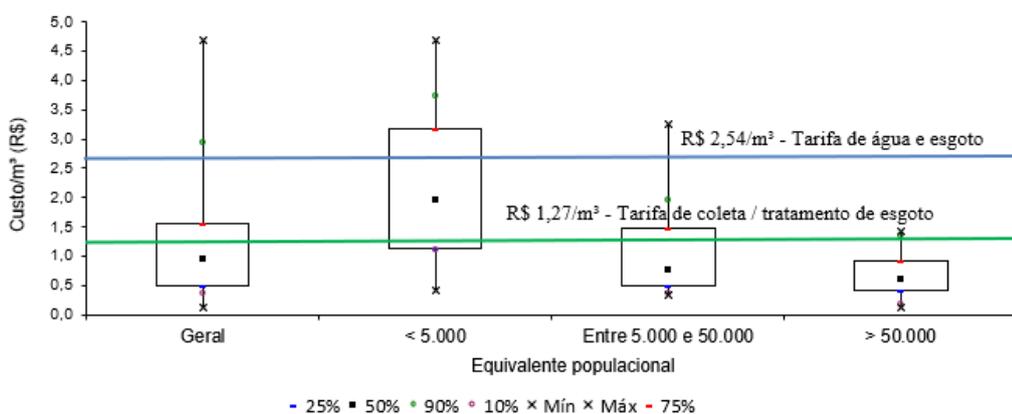
A seguir, é apresentada a FIGURA 5.5 que condensa os custos operacionais por m³ de esgoto tratado nos diferentes grupos. A **linha azul** na FIGURA 5.5 representa a tarifa média, de acordo com BRASIL (2016), com os serviços de água e esgoto na região Sudeste, de R\$ 2,54 /m³. Já a **linha verde** representa, conjuntamente, as tarifas com os serviços de coleta e tratamento de esgoto, que representam 100% da tarifa de água, considerando-se 50% para coleta e 50% para coleta e tratamento, sendo R\$ 1,27/m³.

Pela FIGURA 5.5 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

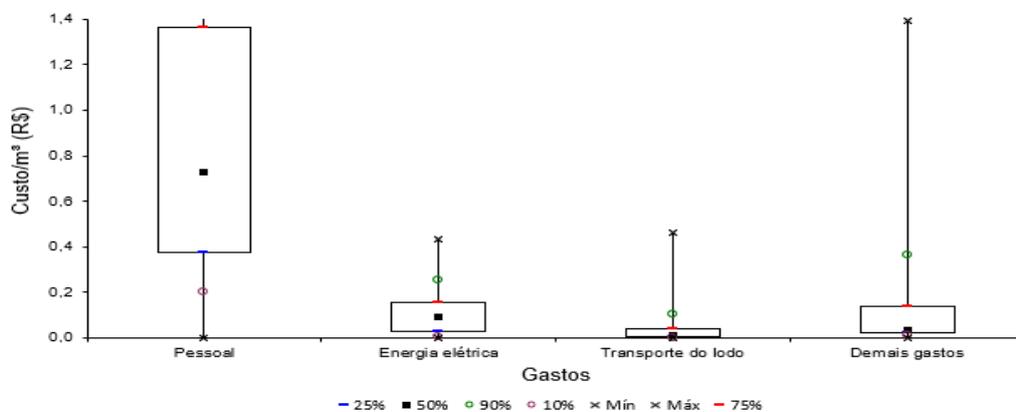
as ETEs e, também, pelas diferentes tecnologias de tratamento utilizadas. Também chama a atenção o alto custo com o tratamento de esgoto no Brasil, tomando-se por base a tarifa média praticada para custear os serviços de água e esgoto na região sudeste do País (linha azul, R\$ 2,54/m³, conforme relatório do SNIS 2014). Neste valor estão inclusos os serviços de distribuição e tratamento de água e coleta e tratamento de esgoto.



(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 – diferentes gastos

FIGURA 5.5: Variação do custo por m³ de esgoto tratado para as 44 ETEs analisadas.

Pela FIGURA 5.5 (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 5.5 (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 5.5 (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 “Transporte de Lodo”, com o percentil 90% estando abaixo dos R\$ 0,20/m³. Todavia, é importante ressaltar que neste item não estão contabilizadas as despesas com a destinação final e com o tratamento do lodo.

A TABELA 5.2 apresenta uma síntese dos custos por m³ de esgoto tratado, considerando a vazão REAL, para os diferentes agrupamentos. E a TABELA 5.3 apresenta as medianas dos custos operacionais das 44 ETEs em análise, em R\$/m³, para os diferentes gastos – “Pessoal”; “Energia Elétrica”; “Transporte de Lodo”; e os demais somados em “Demais gastos”.

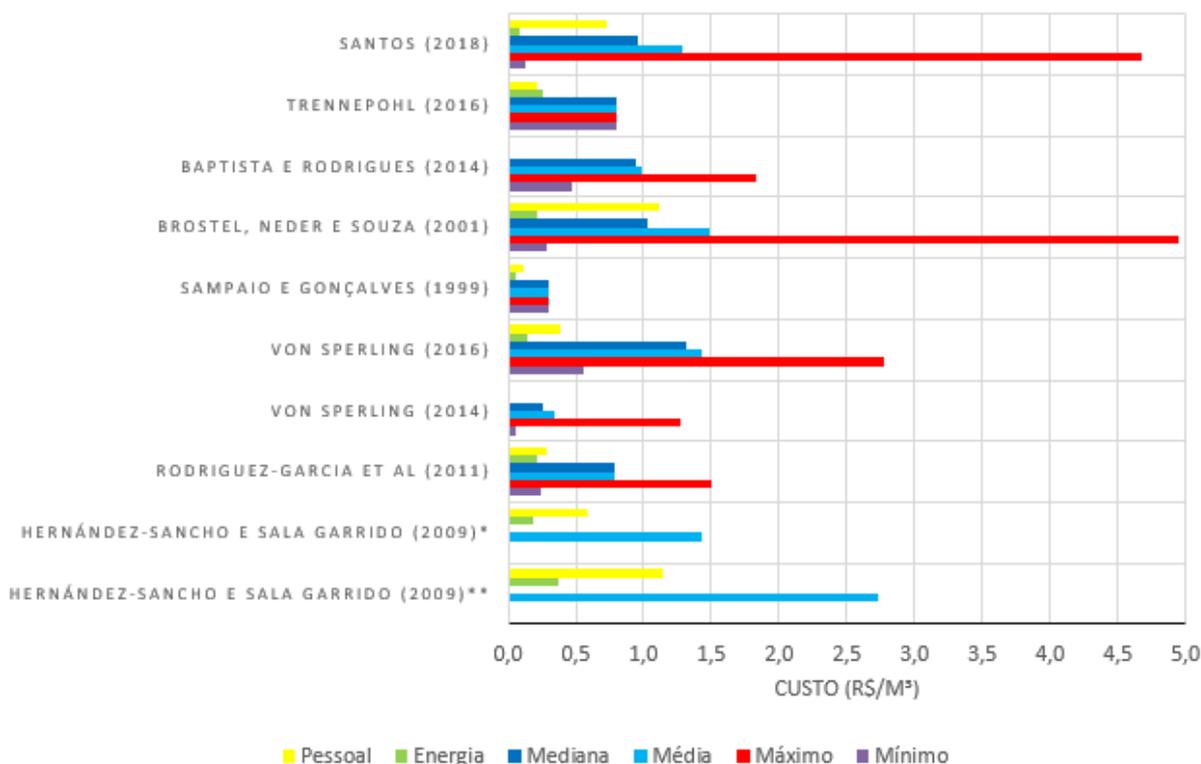
Em seguida, a FIGURA 5.6 apresenta um gráfico sintetizando os resultados deste trabalho (SANTOS, 2018) com os custos operacionais encontrados na literatura consultada, cujos valores são apresentados na TABELA 3.14.

TABELA 5.2: Síntese dos custos por m³ de esgoto tratado (vazão REAL) (R\$/m³-Jan/2017).

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

TABELA 5.3: Medianas dos custos operacionais (R\$/m³-Jan/2017) para diferentes gastos.

Agrupamento	Pessoal	Energia elétrica	Transporte do Lodo	Demais Gastos	
GERAL	0,73	0,09	0,01	0,04	
Todos	Lagoas	0,29	0,01	0,00	0,09
	Sistemas Aerados	0,37	0,24	0,02	0,08
	UASB/UASB+Pós	0,99	0,09	0,01	0,03
	Outros	1,17	0,00	0,00	0,01
Todos	<5.000	1,43	0,05	0,01	0,05
	Entre 5.000 e 50.000	0,50	0,07	0,01	0,03
	>50.000	0,34	0,19	0,02	0,03
Inferior < 5.000	UASB/UASB+Pós	1,65	0,10	0,02	0,12
	Outros	1,17	0,00	0,00	0,01
	Lagoas	0,00	0,03	0,00	0,39
Intermediário Entre 5.000 e 50.000	Sistemas Aerados	0,53	0,16	0,00	0,03
	Lagoas	0,35	0,01	0,00	0,08
	UASB/UASB+Pós	0,71	0,09	0,01	0,03
Superior > 50.000	Sistemas Aerados	0,33	0,25	0,02	0,09
	UASB/UASB+Pós	0,40	0,12	0,01	0,02



* ETEs com índice de eficiência maior do que a média da amostra geral utilizada pelos autores. ** ETEs com índice de eficiência menor do que a média da amostra geral.

FIGURA 5.6: Custos operacionais deste trabalho (SANTOS, 2018) em comparação com a literatura.

Pela FIGURA 5.6 nota-se que a mediana dos custos operacionais de R\$ 0,96/m³ está dentro da faixa encontrada por Hernández-Sancho e Sala-Garrido (2009); Rodriguez-Garcia et al (2011); Von Sperling (2016); estando muito próximo da mediana dos valores encontrada por Brostel, Neder e Souza (2001) e Baptista e Rodrigues (2014). Os custos de Sampaio e Gonçalves (1999) e Trennepohl (2016), quando comparados com ETEs similares às estudadas pelos autores, estão maiores do que os encontrados, porém, dentro das faixas para o processo de tratamento e porte da estação. Os valor máximo de R\$ 4,67/m³ está próximo dos R\$ 4,95/m³ encontrado por Brostel, Neder e Souza (2001), porém, muito acima dos demais. Já o valor mínimo de R\$ 0,13/m³ está abaixo de quase todos os trabalhos utilizados na revisão bibliográfica, sendo a exceção o trabalho de Von Sperling (2014), que apresentou valor mínimo de R\$ 0,05/m³. A mediana dos gastos com “Pessoal”, de R\$ 0,73/m³, se assemelha aos valores de Brostel, Neder e Souza (2001) e Hernández-Sancho e Sala-Garrido (2009), porém, os demais ficaram muito abaixo. Já a mediana dos gastos de energia encontrados, R\$ 0,09/m³, ficou abaixo de quase

todos os autores, sendo a exceção Sampaio e Gonçalves (1999), porém, destaca-se que o trabalho deste autor foi utilizada apenas uma ETE de grande porte e que a maioria das ETEs do presente trabalho não utiliza sistemas aerados no processo, que são maioria nos outros trabalhos consultados.

Analisando-se a TABELA 5.2 com base nas medianas e, comparando-se os processos de tratamento, o Grupo “Lagoas” obteve o menor custo de operação por metro cúbico de esgoto tratado, o que pode ser explicado pela simplicidade operacional do processo. Já na comparação pelo equivalente populacional, o menor custo operacional foi das ETEs para atender 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 relativo 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 verificado 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 para 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, conforme estudado por Brostel, Neder e Souza (2001), Brunner e Starkl (2012), Eggimann, Truffer, e Maurer (2016). A centralização do tratamento dos esgotos teria, ainda, de analisar a 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, o custo operacional é mais difícil de ser otimizado, uma vez que é necessária uma equipe mínima de funcionários para a operação das ETEs, sendo que o gasto com pessoal representa, em média, 77% do custo total desses ETEs. Em outro ponto de vista, Massoud, Tarhini e Nasr (2009) afirmam que a centralização/concentração do tratamento de esgotos é onerosa tanto para construir quanto para operar, devido aos altos custos com implantação dos sistemas de coleta, e defendem que a efetividade dos sistemas descentralizados depende de uma gestão adequada.

Para os processos de tratamento, o maior custo operacional foi das ETEs compostas de reatores UASB seguidos ou não de pós tratamento, porém, essa análise tem de 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 deste mesmo grupo de processo de tratamento.

Analisando-se a TABELA 5.3, nota-se que a mediana dos gastos com energia elétrica nos Sistemas Aerados foi de R\$ 0,24/m³, contra R\$ 0,09/m³ no grupo “UASB/UASB+Pós”. Pela TABELA 5.1, analisando-se as ETEs 35 e 42, do subgrupo Sistemas Aerados, porém, com processos de tratamento com reatores UASB seguidos de Lodos Ativados, tem-se valores discrepantes, onde a primeira tem o gasto com energia de R\$ 0,43/m³, sendo o maior custo relativo com energia elétrica dentre as ETEs analisadas, e a ETE 42, com gasto com energia de R\$ 0,12/m³. Outro gasto com energia a ser destacado são os R\$ 0,40/m³ da ETE 8, composta de reator UASB seguido de filtro anaeróbico, valor muito elevado considerando-se que ambas as etapas não tem qualquer consumo energético (e pela capacidade desta ETE – 5,40 L/s – não há centrífugas para desidratação do lodo). Porém, nota-se que as ETEs 8 e 35 estão com grande parte da capacidade ociosa (índice de ociosidade 82% e 79%, respectivamente), e é provável que os equipamentos instalados estejam superdimensionados, sendo necessário um estudo de eficiência energética nestes casos, onde a utilização de inversores de frequência, para reduzir a potência consumida dos equipamentos para menores vazões, poderia ser uma das soluções. Destaca-se ainda, os R\$ 0,02/m³ gastos com energia elétrica na ETE 44, que representaram 14,7% dos gastos da ETE, cujo processo de tratamento é um sistema aerado de Lodos Ativados Convencional. Tal valor está muito abaixo da mediana dos gastos com energia das ETEs de seu agrupamento e, inclusive, do grupo “UASB/UASB+Pós”. O grande volume de esgoto tratado pode ser o responsável pela diluição dos gastos e, também, o fato de que esta ETE possui sistema de cogeração de energia, com capacidade para suprir cerca de um terço da capacidade da ETE, segundo repassado.

Com o apoio da TABELA 5.1, analisando-se especificamente a ETE 4, cujo sistema de tratamento é composto apenas por reatores UASB, e que teve o maior custo operacional– R\$ 4,67/m³ – pode-se verificar grande ociosidade da estação, ou seja, a vazão de operação (1,60 L/s) é muito menor do que a vazão de projeto (3,65 L/s), com a qual os custos por m³ seriam de R\$ 2,05/m³ (neste cálculo não foram levadas em consideração o aumento do consumo de energia, produção de lodo e manutenção advindos do acréscimo de vazão). Como os gastos com operadores (“Pessoal”) seriam os mesmos caso a ETE operasse em plena capacidade, que é o

principal gasto na unidade, tem-se que o maior aporte de vazão à ETE reduziria o custo por m³ de esgoto tratado.

Curiosamente, a ETE 44, do mesmo grupo da ETE 4 (UASB/UASB + Pós), porém, em uma escala maior (>50.000), apresentou o menor custo operacional, R\$ 0,13/m³. Contudo, corroborando afirmação anterior, pode-se notar que vazão que aporta a essa ETE está próxima à vazão de projeto, demonstrando pouca ociosidade da unidade. Chama a atenção, também, o grande volume tratado por mês, o que faz com que, apesar dos grandes gastos individuais para os parâmetros analisados, o custo por m³ seja diluído.

5.2.1 Avaliação da ociosidade das estações

Devido às diferenças dos custos operacionais para as vazões de projeto e para as vazões reais das ETEs, que podem ser vistos na TABELA 5.1, será analisada a influência da ociosidade das estações nos custos de operação.

Cabe destacar que, conforme fora mencionado na metodologia, alguns custos operacionais são fixos e custeados de forma independente da quantidade de esgoto tratado, como os gastos com mão de obra, vigilância patrimonial e monitoramento ambiental. Outras despesas estão relacionadas diretamente ao volume de esgoto, com influências sobre os custos variáveis, como é o caso da energia elétrica, uso de água e produtos químicos, manutenção de obras civis e o transporte de lodo. Com isso, é importante frisar que, para o cálculo dos custos operacionais para a vazão de projeto, foi realizada a divisão dos gastos reais (atuais) pela vazão de projeto (futura) da ETE. Assim, os custos operacionais, quando as vazões afluentes às ETEs se igualarem às vazões de projeto, podem ser maiores do que os apresentados neste trabalho.

A TABELA 5.4 apresenta uma síntese dos custos por m³ de esgoto tratado, considerando a vazão de PROJETO, para os diferentes agrupamentos. E a FIGURA 5.7 apresenta a comparação dos custos operacionais calculados com a vazão de projeto e os custos calculados com a vazão real da estação no período analisado e cujos valores foram apresentados na TABELA 5.2.

Analisando-se a TABELA 5.4 e a FIGURA 5.7 nota-se a grande diferença entre os custos operacionais das estações calculados a partir da vazão real afluente à estação e a partir da vazão para a qual a estação foi projetada. Percebe-se a drástica redução na mediana geral dos custos

das ETEs com a vazão de projeto, que caiu para menos da metade (R\$ 0,45/m³) da mediana geral das ETEs com a vazão real (R\$ 0,96/m³). Analisando-se separadamente, todos os agrupamentos tiveram grandes reduções nos custos operacionais, em especial o grupo de processos UASB/UASB+Pós.

TABELA 5.4: Síntese dos custos por m³ de esgoto tratado (vazão PROJETO) (R\$/m³ - Jan/2017).

Porte	Agrupamento	Número de ETEs	Média	Desvio Padrão	Mediana	Mínimo	Máximo
GERAL		44	0,81	0,84	0,45	0,11	4,47
Todos	Lagoas	4	0,32	0,14	0,29	0,20	0,51
	Sistemas Aerados	8	0,45	0,37	0,29	0,11	1,11
	UASB/UASB+Pós	30	0,98	0,96	0,61	0,12	4,47
	Outros	2	0,66	0,29	0,66	0,46	0,87
Todos	<5.000	13	1,47	1,14	0,97	0,32	4,47
	Entre 5.000 e 50.000	20	0,66	0,52	0,45	0,20	2,07
	>50.000	11	0,29	0,24	0,21	0,11	0,94
Inferior < 5.000	UASB/UASB+Pós	10	1,75	1,16	1,69	0,59	4,47
	Outros	2	0,66	0,29	0,66	0,46	0,87
	Lagoas	1	0,32	-	0,32	0,32	0,32
Intermediário Entre 5.000 e 50.000	Sistemas Aerados	1	1,11	-	1,11	1,11	1,11
	Lagoas	3	0,32	0,17	0,25	0,20	0,51
	UASB/UASB+Pós	16	0,70	0,55	0,45	0,28	2,07
Superior > 50.000	Sistemas Aerados	7	0,36	0,27	0,29	0,11	0,94
	UASB/UASB+Pós	4	0,16	0,05	0,15	0,12	0,21

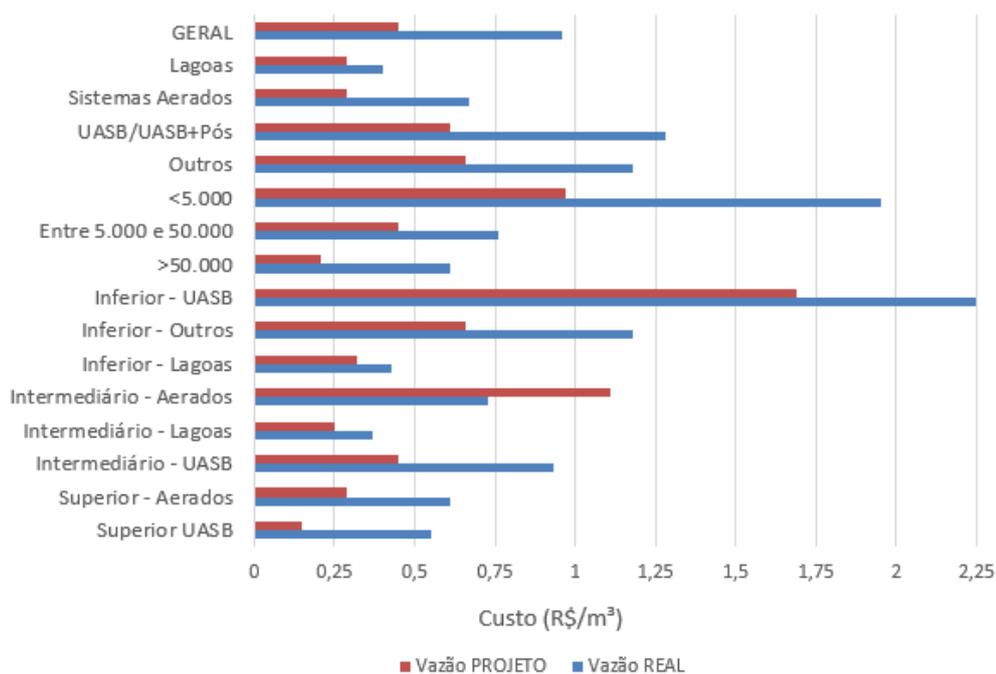


FIGURA 5.7: Comparação da mediana dos custos operacionais para as vazões de PROJETO e REAL.

Houve acréscimo nos custos operacionais para as ETEs que estavam com sobrecarga de vazões, ou seja, vazões afluentes acima da vazão de projeto. Este acréscimo chama a atenção na combinação do agrupamento de Sistemas Aerados com o porte intermediário (entre 5.000 e 50.000 habitantes), onde há apenas uma ETE (ETE 23).

Também houveram grandes reduções nos custos operacionais dos processos de UASB/UASB+Pós e nos Sistemas Aerados, onde ficou explicitado menor custo operacional do primeiro processo. Todavia, o processo de Lagoas continuou com o menor custo operacional.

Esta análise permite atentar para a importância do planejamento da implantação das unidades do sistema de esgotamento, assim como a etapalização de unidades, para que as vazões de início de operação não sejam tão diferentes das vazões de projeto.

Outra medida indispensável durante a fase de projeto é a pesquisa de interesse de adesão da população ao sistema de esgotamento municipal, para verificar o percentual de imóveis que irão se conectar ao sistema público de coleta quando da conclusão das obras. Esta medida é necessária uma vez que, na maioria dos casos e conforme TABELA 3.3, ocorre um aumento das tarifas praticadas pelas concessionárias dos serviços de saneamento nos municípios e, diante disso, há uma parcela da população que opta por não interligar seus imóveis às redes coletoras públicas, lançando seus dejetos em fossas ou diretamente nos cursos d'água e galerias pluviais. Esta baixa adesão, caso não tenha sido prevista, também é uma das causas da ociosidade das ETEs.

5.3 Testes estatísticos

Para a realização de testes estatísticos a primeira etapa é a aplicação de testes de aderência, que objetivam verificar se uma distribuição observada de frequências se ajusta a uma distribuição de valores esperados, segundo determinada teoria. Para isso foi utilizado o teste qui-quadrado – Teste de Kruskal-Wallis e Teste de Dunn (χ^2), conforme metodologia descrita em Oliveira (2017), com o qual foi rejeitada a hipótese de que os dados seguem uma distribuição normal. Dessa forma, serão utilizados testes não paramétricos na análise dos resultados.

5.3.1 Verificação dos “Outliers”

De acordo com Oliveira (2017), *outlier* é uma observação que se desvia nitidamente das demais observações da amostra, podendo surgir de erros humanos, instrumentais, ou ocorrerem naturalmente através de desvios na população. A sua detecção pode ser uma ferramenta muito útil na detecção de erros possíveis, porém, a exclusão dos *outliers* deve ser precedida de uma boa análise crítica, uma vez que muitos dados ambientais possuem valores que se parecem com *outliers*, mas, no contexto, são dados corretos (variações ambientais, mudanças climáticas, atividades humanas...).

Com isso, a verificação dos “*outliers*” foi realizada pelo método da amplitude interquartis (AIC) para detecção de valores atípicos superiores e inferiores, onde Q_3 e Q_1 , são, respectivamente, os percentis de números 75 (terceiro quartil) e 25 (primeiro quartil). Assim, foram verificados os *outliers* para a variável custo por m^3 de esgoto tratado, conforme abaixo:

- *Outlier* inferior: $Q_1 - 1,5(AIQ) = 0,49 - 1,5 (1,55 - 0,49) = -1,11$;
- *Outlier* superior: $Q_3 + 1,5(AIQ) = 1,55 + 1,5 (1,55 - 0,49) = 3,15$;

Pela TABELA 5.1, pode-se notar que não foram detectados *outliers* inferiores, porém, foram encontradas 5 ETEs com o custo operacional maior do que o *outlier* superior (ETEs 2, 4, 8, 12 e 26). Contudo, uma vez que os dados foram baseados em dados mensais de uma série de doze meses (e não apenas em um único valor) e não há motivos para questionar a validade dos dados, as referidas ETEs serão mantidas e analisadas individualmente, a fim de se entender as causas desses valores discrepantes. O gráfico da FIGURA 5.8 apresenta os custos operacionais, em $R\$/m^3$ (linhas sólidas), e as vazões destas ETEs (linhas tracejadas).

Aqui vale ressaltar que a análise dos *outliers* foi realizada também com base na sazonalidade de vazões. Todavia, a sazonalidade será abordada de forma mais detalhada posteriormente.

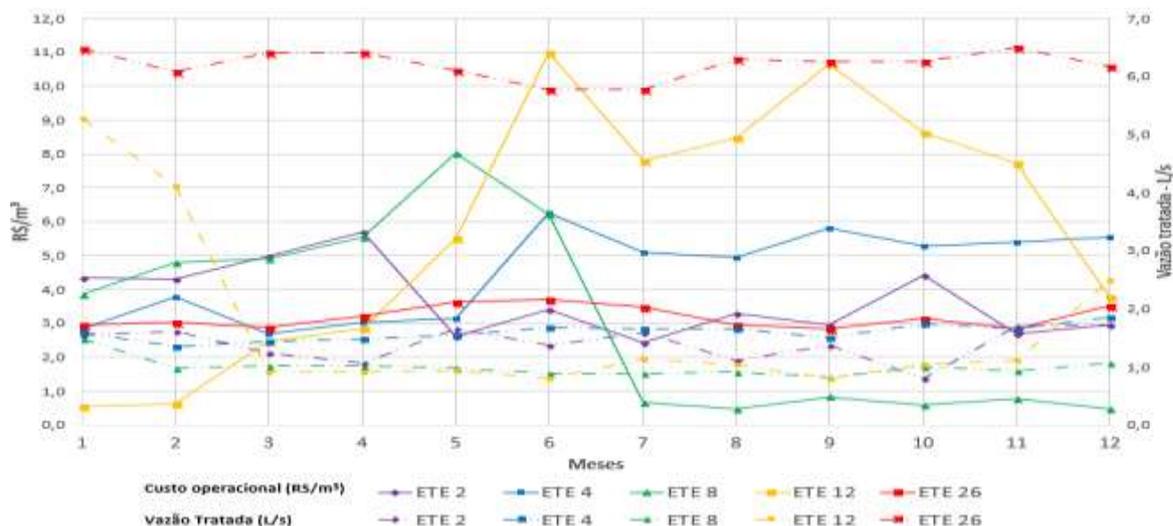


FIGURA 5.8: Sazonalidade das vazões e custos operacionais das “ETEs Outliers”.

Pelo gráfico pode-se notar que, com exceção da ETE 12, que teve picos de vazão no início e final do ano, as vazões tratadas foram constantes, sem grandes variações ao longo do ano. Tais picos de vazão coincidem com o período chuvoso na região Sudeste e podem ter se ocasionado devido ao aporte de água de chuva na estação e tiveram impacto na redução dos custos operacionais por m³ de esgoto tratado. Outro fator que contribuiu para a grande variação dos custos operacionais na ETE 12 foi o aumento de cerca de 4 vezes nos gastos com pessoal a partir do mês de Junho. Houve aumento nos gastos com pessoal também na ETE 04 e redução na ETE 02.

Analisando-se a ETE 8 percebe-se uma grande redução nos custos operacionais, no entanto, a partir do mês de Julho os gastos com pessoal foram zerados, podendo ser devido ao desligamento de funcionários ou mudança na rotina operacional (criação de equipes de escala, operação com funcionários lotados em outras ETEs...). A ETE 26 teve os custos operacionais e a vazão relativamente constantes (sem grandes variações ao longo do ano), porém, esta ETE tem 81% de capacidade ociosa e, além disso, diferente das demais, pertence ao grupo de porte intermediário (equivalente populacional entre 5.000 e 50.000 habitantes), o que pode conferir uma estrutura de pessoal maior. Portanto, caso a ETE 26 tratasse os esgotos em sua total capacidade, os custos operacionais relativos poderiam ser reduzidos. A mesma afirmação pode ser feita para as ETEs 04, 08 e 12, que estão muito ociosas (56%, 82% e 76%, respectivamente). A ETE 04, que teve o maior custo operacional, tem o como complicador, o fato de estar localizada em uma área de risco, necessitando de vigilância constante.

5.3.2 Teste de agrupamentos

5.3.2.1 Análise de Cluster

Além dos agrupamentos adotados como premissa neste trabalho, sendo um por processo de tratamento e outro por equivalente populacional das ETEs, foi realizada uma análise de conglomerados ou análise de *cluster*, com o objetivo de dividir os elementos da amostra em grupos de forma que os elementos pertencentes a um mesmo grupo sejam similares entre si com respeito às variáveis (características) que neles foram medidas, e os elementos em grupos diferentes sejam heterogêneos em relação a estas mesmas características (MINGOTI, 2005).

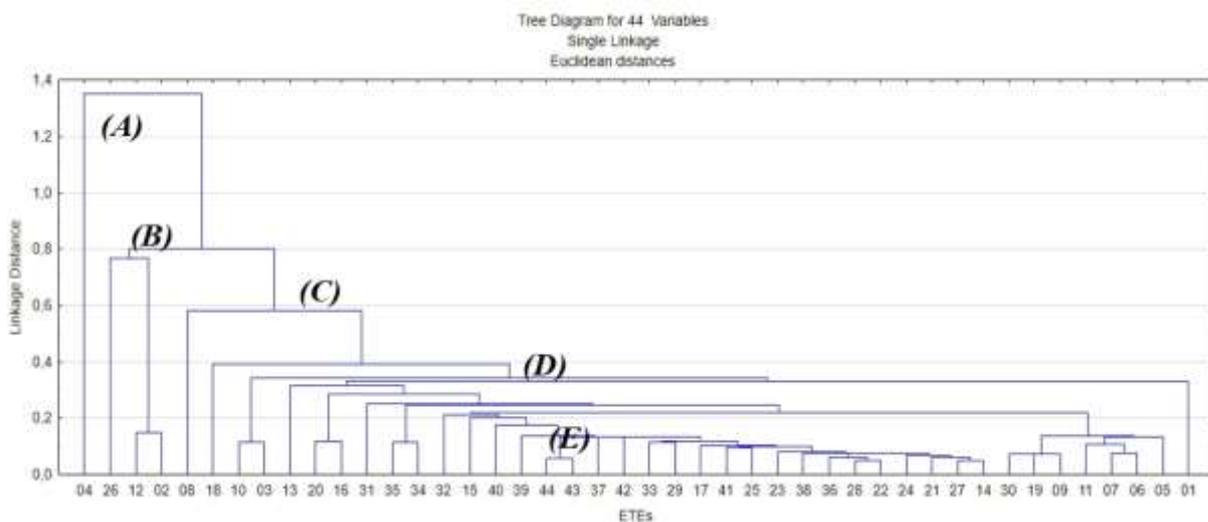
Assim, através da utilização da distância Euclidiana entre dois elementos, onde dois elementos amostrais são comparados em cada variável pertencente ao vetor de observações; e o método da Ligação Simples (*Single Linkage*), onde a similaridade entre dois conglomerados é definida pelos dois elementos mais parecidos entre si; foi realizada a análise de agrupamento, com o apoio do software STATISTICA, e levando-se em consideração diferentes variáveis.

A FIGURA 5.9 apresenta os dendogramas resultantes desta análise.

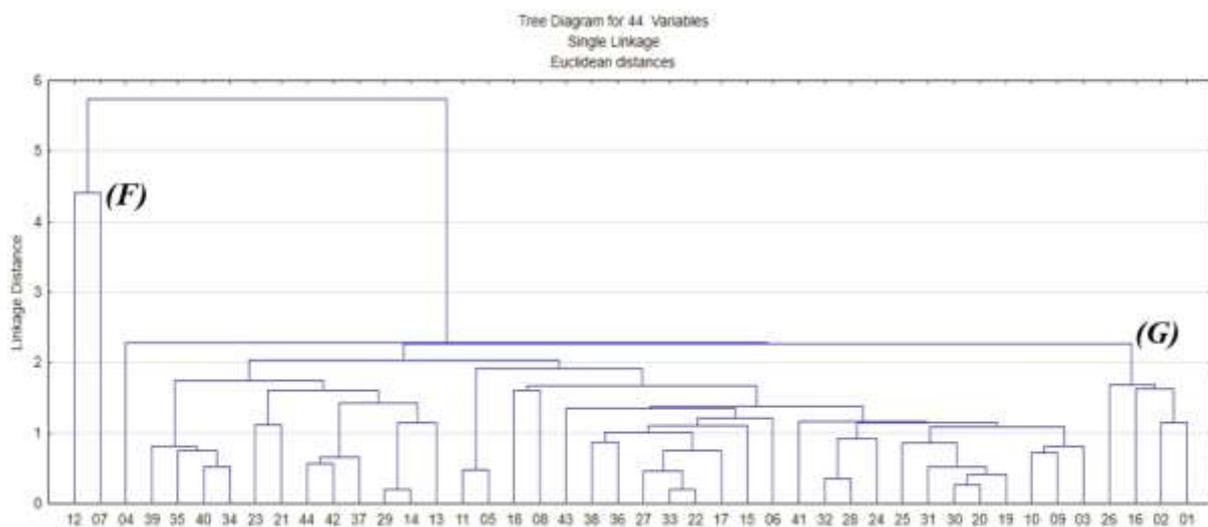
Analisando-se a FIGURA 5.9 (a), onde foram utilizados os gastos de Pessoal/m³; Energia/m³; Transporte do lodo/m³; e Demais gastos/m³ na elaboração do gráfico, nota-se que apenas as ETEs que foram consideradas “*outliers*” – ETEs 02; 04; 08; 12; e 26 – foram agrupadas em separado das demais (conglomerados A, B e C), uma vez que os seus gastos tiveram as maiores distâncias euclidianas. Não foi formado nenhum agrupamento evidenciado pelos grupos de porte ou processo, sendo que as distâncias euclidianas foram similares para as diferentes ETEs e formaram um único conglomerado (D). Nota-se que, apesar das diferenças entre os percentuais de gastos e os processos das ETEs 43 e 44, a proximidade entre os custos operacionais por m³ destas ETEs levou à formação do conglomerado com menor distância euclidiana (E), ou seja, as ETEs seriam as mais similares sob a perspectiva do custo operacional.

Já pela análise da FIGURA 5.9 (b) onde, para elaboração do dendograma, foram utilizados os grupos de ociosidade; a eficiência de remoção de DBO; os grupos de processos de tratamento; os grupos de equivalente populacional (porte); e os custos operacionais por m³ de esgoto tratado e por quilo de DBO removida; evidencia-se apenas o conglomerado (F), formado pelas ETEs 12 e 07, afastando-se dos demais, o que pode ser devido ao alto custo operacional por quilo de

DBO removida, que foram os maiores dentre todas as ETEs. Já no conglomerado (G) destacam-se, também, as similaridades entre o custo por quilo de DBO removida das ETEs do agrupamento – 01; 02; 16; e 26.



(a) Variáveis: gastos de Pessoal/m³; Energia/m³; Transporte do lodo/m³; e Demais gastos/m³.



(a) Variáveis: ociosidade; eficiência de remoção de DBO; processos de tratamento; porte das ETEs; custo operacional/m³; e custo operacional por kg de DBO removida.

FIGURA 5.9: Dendogramas de agrupamento das ETEs para os diferentes gastos.

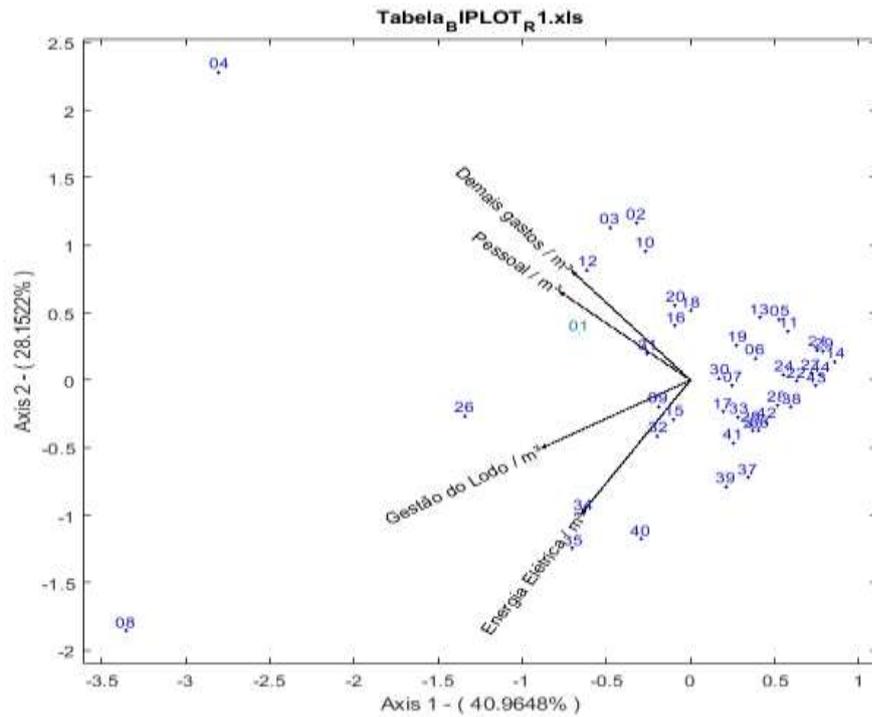
5.3.2.2 Gráficos Biplot

Para facilitar o entendimento dos resultados das análises multivariadas foi utilizada a técnica de representação gráfica de linhas e colunas de uma matriz de dados em um único gráfico do tipo Biplot. O bi do nome Biplot refere-se a duas informações contidas na matriz de dados: nas linhas tem-se informações pertencentes às amostras ou unidades amostrais; e nas colunas informações que pertencem às variáveis. Esta técnica tem como objetivo a representação gráfica aproximada de uma matriz X de dados, em outra $Y_{n \times p}$ de baixa dimensão, permitindo a visualização das relações e inter-relação entre linhas e colunas de Y em um único gráfico. Pode-se observar como as observações se agrupam e quais variáveis contribuem para sua posição dentro dessa representação (KLEFLENS, 2009).

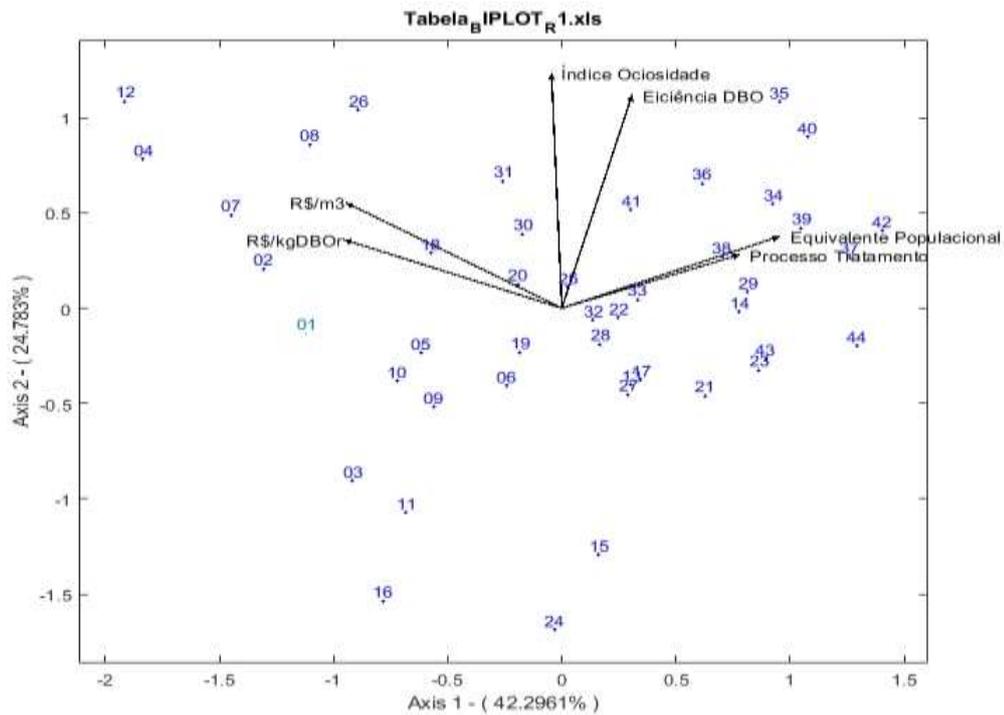
A FIGURA 5.10 apresenta os gráficos Biplot para diferentes variáveis, representadas pelos vetores, sendo que as ETEs foram representadas pelos pontos. Os gráficos foram elaborados com o auxílio do software MultiBiplot.

Pela FIGURA 5.10 (a) a distribuição dos pontos não evidenciou nenhum componente principal nos gastos das ETEs, apenas uma pequena tendência em direção aos gastos com “Pessoal” e “Demais gastos”, que tiveram perfis similares na elaboração do gráfico. Chama a atenção a localização das ETEs “outliers” 04 e 08, que se distanciam de todas as demais.

Já pela FIGURA 5.10 (b) nota-se grande dispersão das ETEs, também sem nenhuma variável evidenciada como componente principal, mas com leve tendência de direção para o processo de tratamento e equivalente populacional. No canto superior esquerdo foram agrupados os “outliers” em termos de custo operacional por m^3 de esgoto tratado e no centro inferior do gráfico ficaram as ETEs menos eficientes (03, 11 e 16) e as ETEs com maior sobrecarga (15 e 24).



(a) Variáveis: gastos de Pessoal/m³; Energia/m³; Transporte do lodo/m³; e Demais gastos/m³.



(b) Variáveis: ociosidade; eficiência de remoção de DBO; processos de tratamento; porte das ETEs; custo operacional/m³; e custo operacional por kg de DBO removida.

FIGURA 5.10: Gráficos Biplot para diferentes variáveis.

5.3.3 Comparação entre as medianas

Uma vez que, pelo teste de aderência, não foi identificada a normalidade dos dados da pesquisa, e para testar se os grupos de amostras independentes foram extraídos de populações que têm medianas iguais, será utilizado o teste de hipóteses não paramétrico para múltiplas amostras independentes de Kruskal-Wallis. Neste teste, a hipótese nula H_0 considera todas as medianas iguais e a hipótese alternativa H_1 considera que há medianas diferentes.

Assim, serão testadas as medianas dos diferentes grupos analisados neste trabalho.

5.3.3.1 Grupo Processos de Tratamento

A TABELA 5.5 apresenta os resultados do teste de Kruskal-Wallis e Dunn, onde tem-se que apenas as medianas dos grupos UASB/UASB+Pós e Lagoas são diferentes, sendo a mediana do primeiro grupo significativamente superior, ou seja, não é possível a comparação estatística entre estes grupos.

TABELA 5.5: Resumos do teste Kruskal-Wallis e Dunn para o grupo de Processos.

Comparação	Diferença	EP	Q_{calc}	$Q_{0,05;4}$	Regra de decisão	Conclusão
UASB vs AERADOS	10,35	5,11	2,02		Não rejeitar H_0	Medianas não são diferentes
UASB vs OUTROS	0,78	9,38	0,08		Não rejeitar H_0	Medianas não são diferentes
UASB vs LAGOAS	20,53	6,84	3,00	2,639	<u>Rejeitar H_0</u>	<u>Medianas são diferentes</u>
AERADOS vs OUTROS	-9,56	10,15	-0,94		Não rejeitar H_0	Medianas não são diferentes
AERADOS vs LAGOAS	10,19	7,86	1,30		Não rejeitar H_0	Medianas não são diferentes
OUTROS vs LAGOAS	19,75	11,12	1,78		Não rejeitar H_0	Medianas não são diferentes

5.3.3.2 Grupo Porte

A TABELA 5.6 apresenta os resultados do teste de Kruskal-Wallis e Dunn, onde nota-se que as medianas de todos os grupos são estatisticamente diferentes entre si, a partir do que conclui-se que não é possível a comparação estatística entre os diferentes grupos, uma vez que a comparação só pode ser realizada entre grupos com medianas iguais pelo teste de Dunn.

TABELA 5.6: Resumos do teste Kruskal-Wallis e Dunn para o grupo de Portes.

Comparação	Diferença	EP	Q _{calc}	Q _{0,05;3}	Regra de decisão	Conclusão
PORTE 1 vs PORTE 2	12,5	4,58	2,73		<u>Rejeitar H0</u>	<u>Medianas são diferentes</u>
PORTE 1 vs PORTE 3	266,5	5,26	50,65	2,394	<u>Rejeitar H0</u>	<u>Medianas são diferentes</u>
PORTE 2 vs PORTE 3	254,0	4,82	52,68		<u>Rejeitar H0</u>	<u>Medianas são diferentes</u>

5.3.3.3 Grupo UASB/UASB+Pós por porte populacional

Como pôde-se notar, as medianas entre os grupos divididos por equivalentes populacionais foram diferentes entre si. Com base nisso a comparação entre os processos só deve ser realizada para ETEs de mesmo porte. Tal afirmação é reforçada pela aplicação destes testes estatísticos apenas para o grupo de UASB/UASB+Pós, subdivididos nos grupos por equivalente populacional. Ressalta-se que os outros grupos de processos de tratamento não foram analisados por porte por não haver dados em todos os subgrupos por equivalente populacional

A TABELA 5.7 apresenta os resultados do teste de Dunn, onde tem-se que as medianas de todos os portes para o grupo UASB/UASB+Pós são estatisticamente diferentes entre si.

TABELA 5.7: Resumos do teste Dunn para o grupo UASB/UASB+Pós em diferentes portes.

Comparação	Diferença	EP	Q _{calc}	Q _{0,05;3}	Regra de decisão	Conclusão
PORTE 1 vs PORTE 2	23,0	5,18	4,44		<u>Rejeitar H0</u>	<u>Medianas são diferentes</u>
PORTE 1 vs PORTE 3	208,0	7,60	27,37	2,394	<u>Rejeitar H0</u>	<u>Medianas são diferentes</u>
PORTE 2 vs PORTE 3	185,0	7,18	25,77		<u>Rejeitar H0</u>	<u>Medianas são diferentes</u>

5.3.4 Verificação da correlação entre as variáveis – coeficiente de SPEARMAN

Para verificar se existe alguma associação entre variáveis a correlação entre os dados foi verificada através do coeficiente de correlação de Spearman – r_s (não paramétrico), uma vez que, pelo teste de aderência, não foi verificada a normalidade de distribuição dos dados, que é uma das exigências para emprego do coeficiente de correlação de Pearson (mais usual).

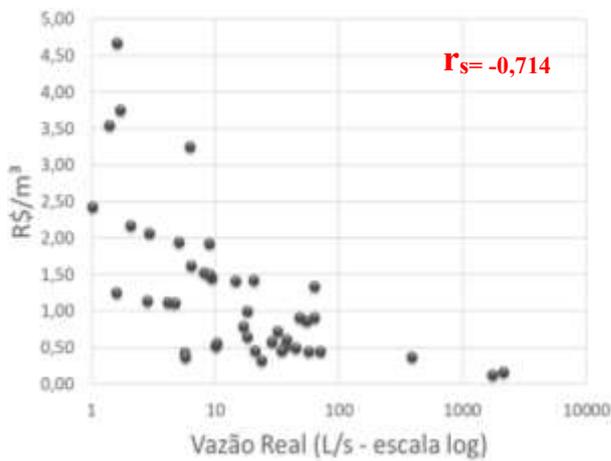
A intensidade entre as correções pode ser avaliada conforme os seguintes critérios: coeficiente de correlação igual a 0, correlação nula; entre 0 e 0,3, correlação fraca; entre 0,3 e 0,6, correlação regular; entre 0,6 e 0,9, correlação forte; entre 0,9 e 1, correlação muito forte; e coeficiente de correlação igual a 1, correlação plena ou perfeita.

Com isso, com o apoio do software STATISTICA, foram verificadas as correlações, através do coeficiente de correlação de Spearman, para diversas variáveis estudadas neste trabalho. A TABELA 5.8 apresenta os valores de r_s para diferentes combinações de variáveis. Destaca-se que os valores em **vermelho** apresentaram correlação estaticamente significativa para um nível de significância $\alpha=5\%$. Em seguida, a FIGURA 5.11 apresenta os gráficos de dispersão para diferentes variáveis.

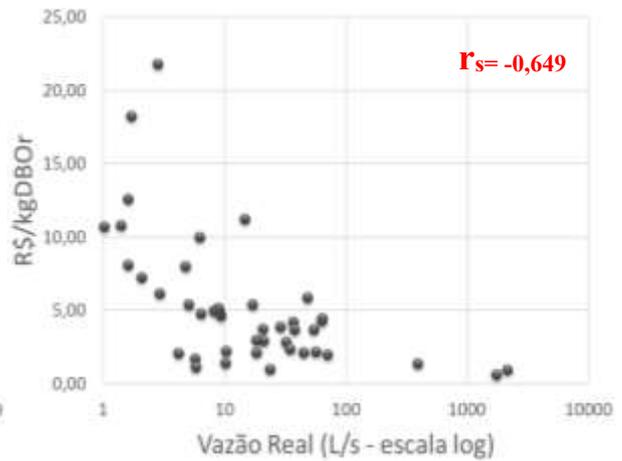
TABELA 5.8: Coeficientes de correlação de Spearman para diferentes combinações de variáveis.

	Vazão Projeto	Vazão Real	Custo/m ³	Custo/DBOr	Ociosidade	Efici. DBO	Carga orgânica afluyente	Grupo Processo	Grupo Porte	Grupo Ociosidade
Vazão Projeto	1,000	0,898	-0,581	-0,535	0,290	0,319	-0,382	0,364	0,930	-0,238
Vazão Real	0,898	1,000	-0,714	-0,649	-0,107	0,207	-0,410	0,404	0,861	-0,247
Custo/m ³	-0,581	-0,714	1,000	0,854	0,219	-0,023	0,409	-0,427	-0,540	0,400
Custo/DBOr	-0,535	-0,649	0,854	1,000	0,223	-0,112	-0,040	-0,393	-0,521	0,469
Ociosidade	0,290	-0,107	0,219	0,223	1,000	0,278	-0,032	0,007	0,227	-0,038
Eficiência DBO	0,319	0,207	-0,023	-0,112	0,278	1,000	-0,107	0,172	0,284	-0,005
Carga orgânica afluyente	-0,382	-0,410	0,409	-0,040	-0,032	-0,107	1,000	-0,144	-0,312	-0,143
Grupo Processo	0,364	0,404	-0,427	-0,393	0,007	0,172	-0,144	1,000	0,401	-0,184
Grupo Porte	0,930	0,861	-0,540	-0,521	0,227	0,284	-0,312	0,401	1,000	-0,127
Grupo Ociosidade	-0,238	-0,247	0,400	0,469	-0,038	-0,005	-0,143	-0,184	-0,127	1,000

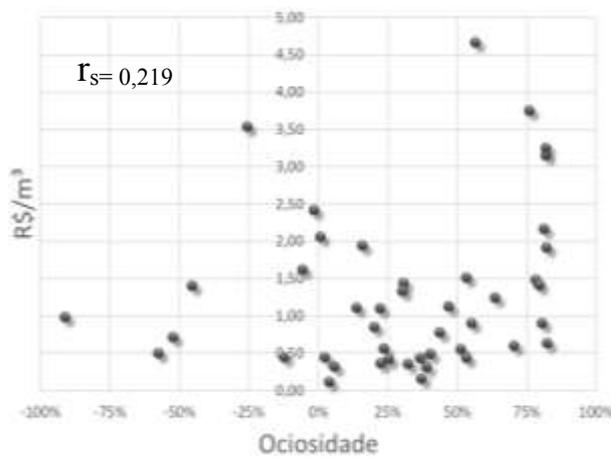
* Valores em vermelho apresentaram correlação estatisticamente significativa para um nível de significância $\alpha=5\%$.



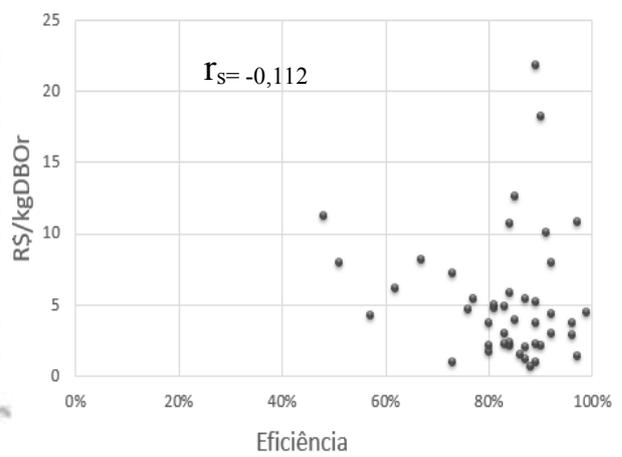
(a) Vazão x Custo Operacional (R\$/m³)



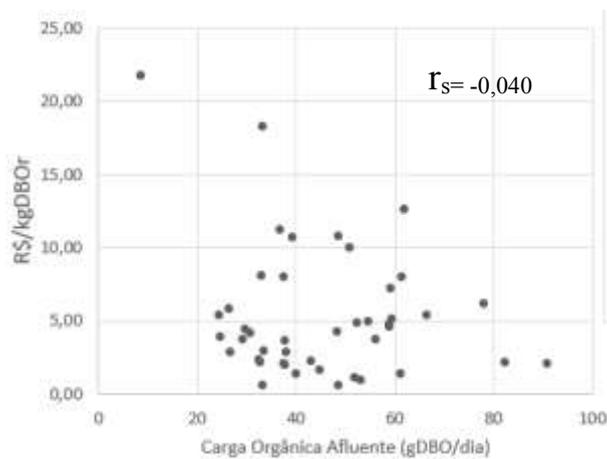
(b) Vazão x Custo Operacional (R\$/kgDBOr)



(c) Custo Operacional (R\$/m³) x Ociosidade



(d) Custo Operacional (R\$/kgDBOr) x Eficiência (DBO)



(e) Custo Operacional (R\$/kgDBOr) x Carga Orgânica Afluente (gDBO/hab.dia)

FIGURA 5.11: Gráficos de dispersão para diferentes variáveis.

Nota-se que houveram fortes correlações entre o custo por m³ de esgoto tratado e o custo por quilo de DBO removida com a vazão que aporta às ETEs, com o sinal negativo indicando o decréscimo dos custos operacionais relativos com o aumento da vazão. Correlações regulares foram encontradas entre os custos operacionais e o porte das estações. Com o grupo de processo foram encontradas correlações regulares somente com os custos operacionais por m³ de esgoto tratado e com a vazão real. Diferente de Rodriguez-Garcia et al (2011), não foi identificada correlação significativa entre a eficiência operacional e o tipo de tratamento ou o porte das estações. Também não foi identificada correlação entre o custo operacional por quilo de DBO removida e a carga orgânica afluyente às estações.

5.3.5 Verificação da ociosidade

Pela TABELA 5.8 nota-se que, para a eficiência, foi encontrada correlação regular apenas com a vazão de projeto e, diferente do esperado, não foi encontrada correlação significativa da ociosidade das estações com nenhuma variável. Sendo que esperava-se que estações mais ociosas fosse mais onerosas do que estações com vazão próxima à capacidade nominal, conforme fora encontrado por Brostel, Neder e Souza (2001) e Baptista e Rodrigues (2014).

Dessa forma, tal análise foi expandida, sendo testadas as correlações entre os diferentes grupos com diferentes níveis de ociosidade, adotando-se as seguintes premissas: ETEs não ociosas (índice de ociosidade menor ou igual a 40%); ETEs ociosas (índice de ociosidade acima de 40%); e ETEs em sobrecarga (ociosidade negativa, ou seja, menor do que 0%). A

TABELA 5.9 apresenta os resultados encontrados.

Com a expansão da análise foram encontradas correlações significativas, para um nível de significância $\alpha=5\%$ (valores em vermelho), para as ETEs não ociosas de porte inferior, em um resultado controverso, onde tanto a ociosidade quanto a eficiência reduziram conforme o custo operacional aumentava, sendo que tal resultado pode ser devido a uma combinação coincidente de fatores e não à relação de fato da eficiência ou ociosidade com o custo operacional. Já nas ETEs ociosas de porte intermediário, foi verificada correlação significativa da ociosidade com o custo operacional por m³, indicando que à medida que a ociosidade aumenta, o custo operacional também cresce para essa faixa de vazões. Corrobora essa afirmação a análise isolada das ETEs, conforme TABELA 5.1, onde nota-se que o custo por m³ de esgoto tratado

atual seria muito reduzido caso as vazões afluentes fossem iguais às vazões de projeto (desconsiderando-se os acréscimos no consumo de energia e outros gastos com o aumento da vazão). Tal afirmação permite atentar para a importância do planejamento da implantação das unidades do sistema de esgotamento, assim como a etapalização de unidades, para que as vazões de início de operação das unidades não sejam tão diferentes das vazões de projeto.

TABELA 5.9: Coeficiente de correlação de Spearman para a ociosidade e eficiência nos diferentes portes.

Operação		Geral				< 5.000 hab.					
		n	Ociosidade	Custo DBO	Eficiência DBO	Custo m ³	n	Ociosidade	Custo/ DBO	Eficiência DBO	Custo/ m ³
Não ociosa	Ociosidade	18	1,000	-0,280	0,286	-0,356	5	1,000	-0,300	0,000	-0,900
	Efic. DBO		0,286	-0,416	1,000	-0,361		0,000	-0,900	1,000	-0,200
Ociosa	Ociosidade	18	1,000	0,038	0,270	0,373	5	1,000	-0,700	0,600	0,300
	Efic. DBO		0,270	-0,037	1,000	0,102		0,600	-0,100	1,000	0,100
Sobrecarga	Ociosidade	8	1,000	0,500	0,381	0,452	3	1,000	-0,500	-0,500	-0,500
	Efic. DBO		0,381	-0,048	1,000	0,357		-0,500	1,000	1,000	1,000
Operação		entre 5.000 e 50.000 hab.				> 50.000 hab.					
		n	Ociosidade	Custo DBO	Eficiência DBO	Custo m ³	n	Ociosidade	Custo DBO	Eficiência DBO	Custo m ³
Não ociosa	Ociosidade	8	1,000	-0,333	0,575	-0,310	5	1,000	0,300	-0,700	0,300
	Efic. DBO		0,575	-0,563	1,000	-0,383		-0,700	0,300	1,000	0,300
Ociosa	Ociosidade	7	1,000	0,429	0,324	0,821	6	1,000	0,257	-0,086	0,314
	Efic. DBO		0,324	0,306	1,000	0,180		-0,086	0,143	1,000	0,657
Sobrecarga	Ociosidade	5	1,000	0,500	0,100	-0,300	0	-	-	-	-
	Efic. DBO		0,100	-0,700	1,000	-0,500		-	-	-	-

Todavia, ressalta-se o pequeno número de ETEs analisados em cada grupo (“n” entre 3 e 8), assim, uma análise com um número maior de ETEs é necessária, uma vez que, para as demais faixas não foram identificadas correlações significativas.

5.3.6 Avaliação da correlação para os diferentes gastos

5.3.6.1 Pessoal

A FIGURA 5.12 apresenta os gráficos de dispersão, com os respectivos coeficientes de correlação de Spearman, dos gastos com “Pessoal”, onde nota-se forte correlação positiva, próxima à unidade, entre os gastos de “Pessoal” com o custo operacional (a), ou seja, independente do porte das ETEs os gastos com funcionários se mantiveram constantes, mostrando que os custos operacionais estão intimamente relacionados com os gastos com pessoal.

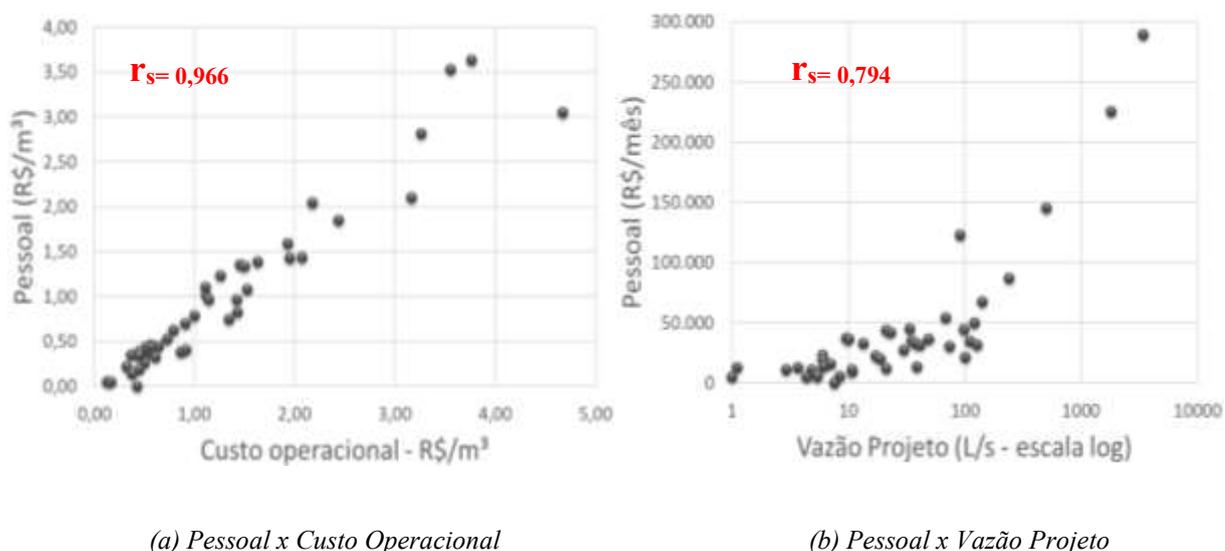


FIGURA 5.12: Gráficos de dispersão para os gastos com “Pessoal”.

Também houve correlação forte e positiva com a vazão de projeto (b), mostrando aumento na quantidade de funcionários com a vazão tratada. Segundo repassado, a quantidade maior de empregados nas ETEs maiores está ligada diretamente a complexidade maior das atividades. Algumas tarefas necessitam de mais de um empregado para serem executadas. Além disso, há estações com várias etapas de tratamento: fase líquida, fase sólida com desidratação mecânica e secagem térmica e fase gasosa com aproveitamento do biogás. Tem-se ainda que, funcionários lotados em ETEs maiores (não foi especificada a escala de vazão) tem salários maiores, devido à maior complexidade dos serviços.

5.3.6.2 Energia elétrica

A FIGURA 5.13 apresenta os gráficos de dispersão, com os respectivos coeficientes de correlação de Spearman, dos gastos com “Energia” com a vazão real e com o custo operacional das ETEs.

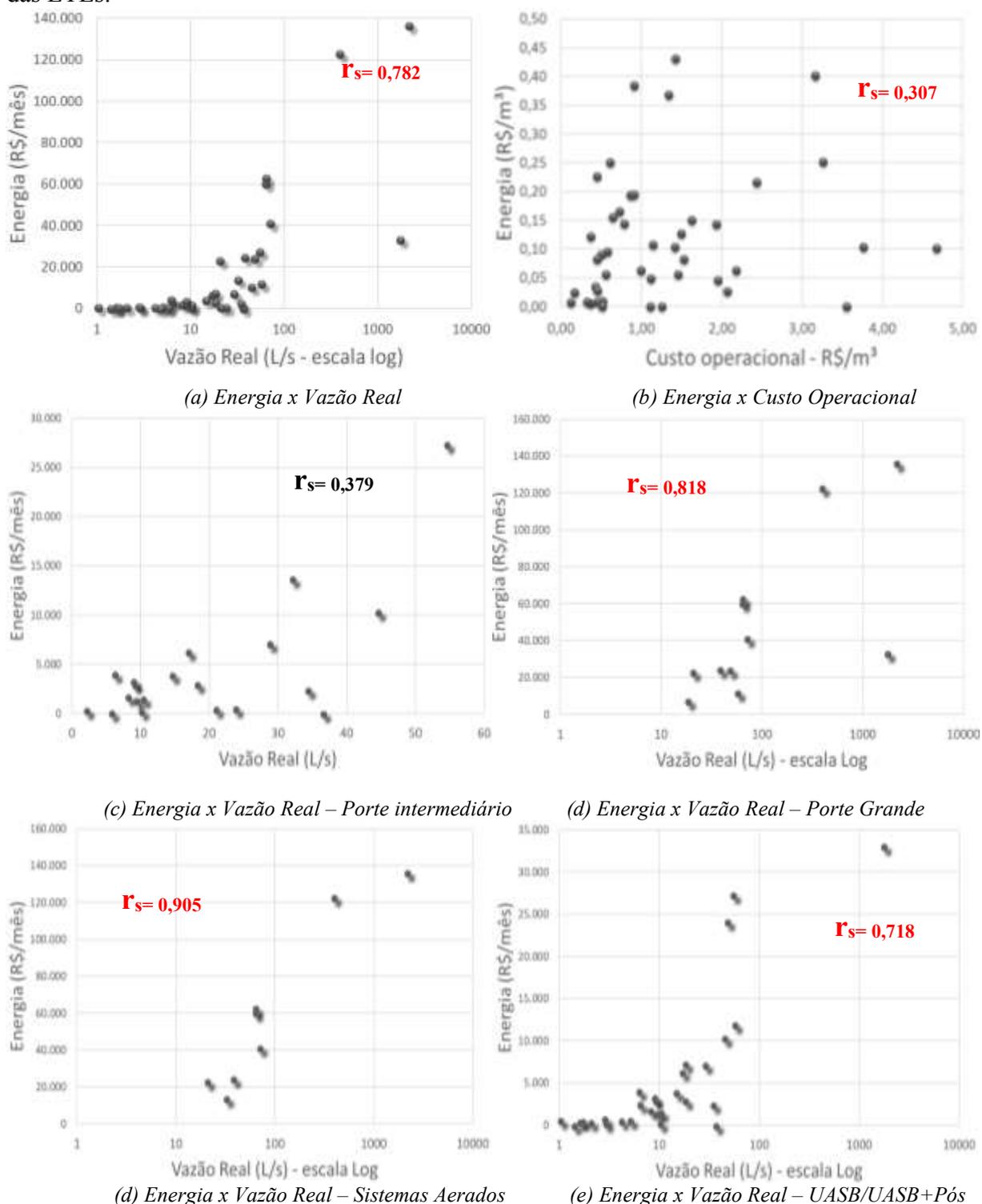


FIGURA 5.13: Gráficos de dispersão para os gastos com “Energia”.

Pela FIGURA 5.13 (a), o acréscimo nos gastos de “Energia” com o aumento da vazão pode ser explicado devido à necessidade de equipamentos de maior potência para bombear vazões maiores, mas, principalmente, devido à maior sofisticação das ETEs maiores, que possuem centrífugas, raspadores e à menor incidência de sistemas aerados para as vazões menores. Por esse mesmo motivo foi encontrada correlação fraca, apesar de significativa, para o consumo de energia por m³ e o custo operacional, também por m³, FIGURA 5.13 (b), o que mostra que, avaliando-se as ETEs como um todo, o consumo de energia tem pouca influência sobre o custo operacional das ETEs.

Conforme a FIGURA 5.13 (c) e (d), não foi encontrada correlação significativa entre os gastos com energia e a vazão para as ETEs de porte intermediário e de menor porte (nesta última, que não foi mostrada na FIGURA 5.13, $r_s=0,214$), porém, foi encontrada forte correlação significativa e positiva para as ETEs maiores, resultado no maior número de ETEs do grupo “Sistemas Aerados” nesta faixa de vazão. Correlação significativa também foi encontrada para os gastos de energia com a de vazão nos grupos “Sistemas Aerados”, FIGURA 5.13 (d), o que pode indicar aumento na potência de equipamentos e aeradores com o aumento de vazão. E também para o grupo de “UASB/UASB + Pós”, FIGURA 5.13 (e), o que indica o aumento da complexidade do tratamento com o aumento da vazão, com a necessidade de mais equipamentos que consomem energia, como centrífugas para a desidratação de lodo.

5.3.6.3 Demais gastos e Transporte do Lodo

A FIGURA 5.14 apresenta os gráficos de dispersão, com os respectivos coeficientes de correlação de Spearman, dos gastos com “Transporte do Lodo” e “Demais gastos” com a vazão real das ETEs. E a FIGURA 5.15 apresenta os componentes da variável “Demais gastos”.

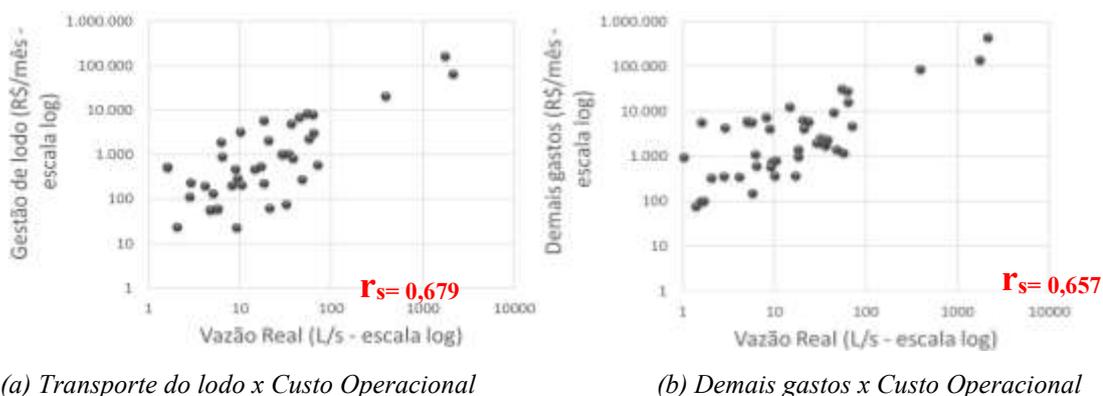
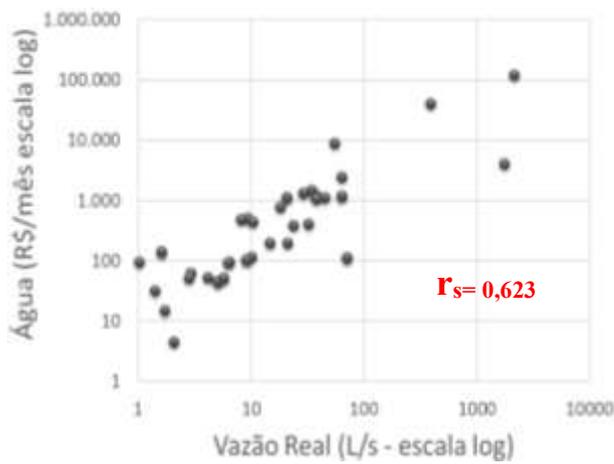
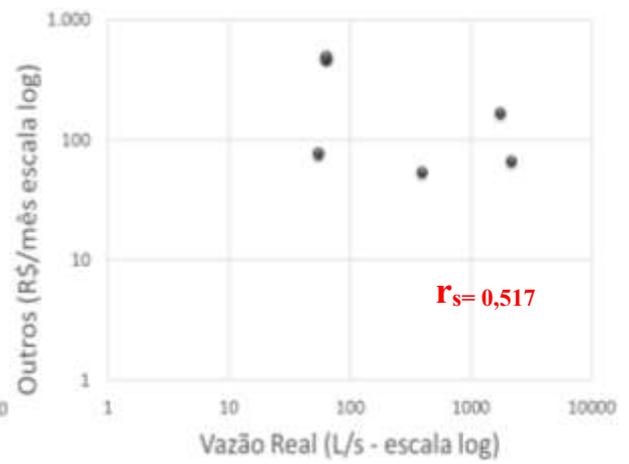


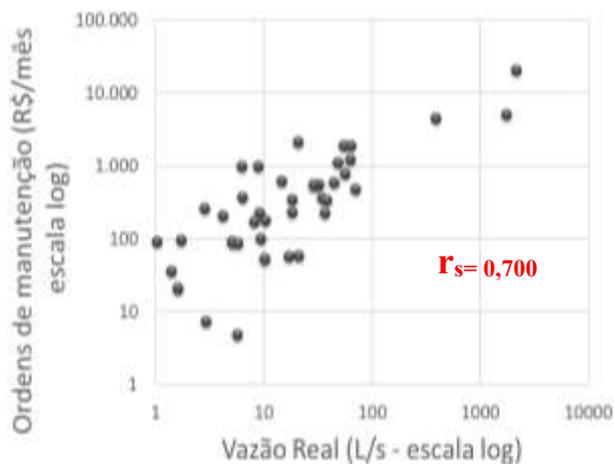
FIGURA 5.14: Gráficos de dispersão para a “Transporte do Lodo” e “Demais gastos”.



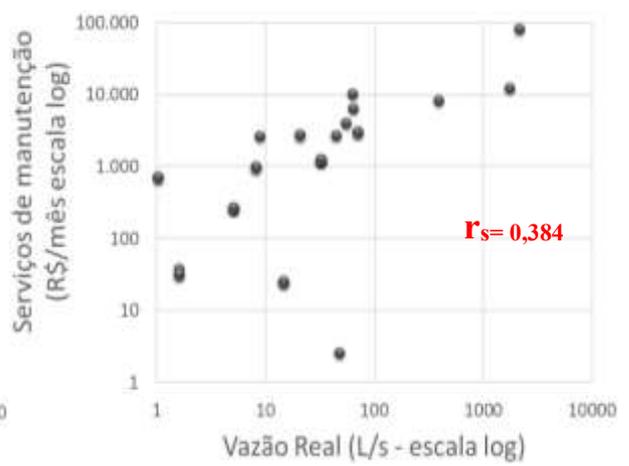
(a) Consumo de água x Vazão Real



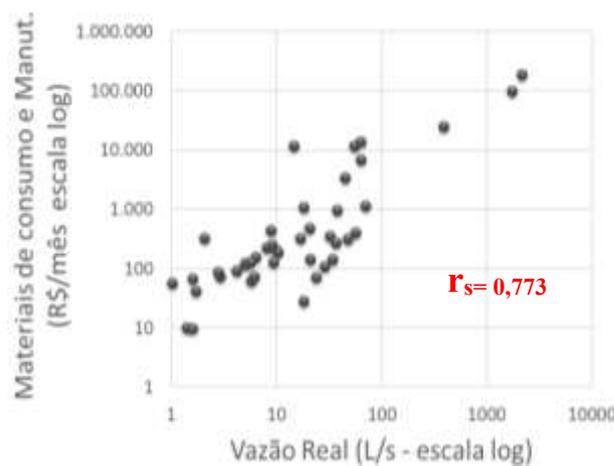
(b) "Outros" x Vazão Real



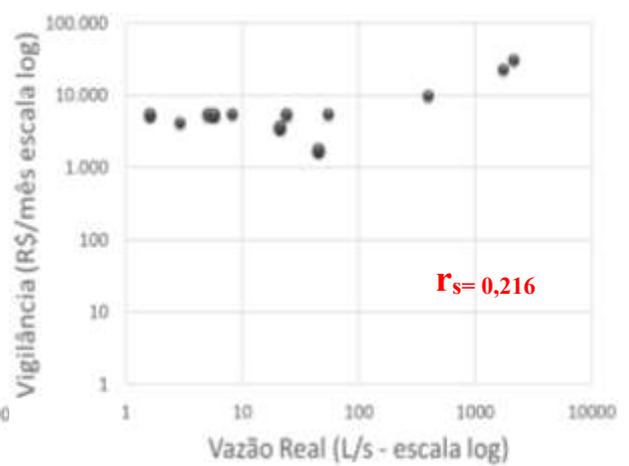
(c) "Ordens de Manutenção" x Vazão Real



(d) "Serviços de manutenção" x Vazão Real



(e) "Materiais de consumo" x Vazão Real



(f) Vigilância x Vazão Real

FIGURA 5.15: Gráficos de dispersão para os "Demais gastos".

Pela FIGURA 5.14 foram verificadas fortes correlações significativas positivas, ou seja, com o acréscimo de vazão ocorre o aumento da produção de lodo com o conseqüente aumento dos gastos para o seu tratamento e destinação final. O acréscimo dos “Demais gastos” com a vazão pode ser devido, principalmente, aos “Materiais de consumo e manutenção” e “Ordens de manutenção” que apresentaram os maiores coeficientes de correlação com a vazão. A “Vigilância”, apesar de representar um grande percentual nos gastos de uma grande parte das ETES, não mostrou correlação com a vazão. Já pela FIGURA 5.15 (a) verifica-se o acréscimo dos gastos com o consumo de água com o aumento da vazão, o que era de se esperar, devido ao maior consumo de água em ETES que possuem centrífugas para desidratação de lodo, que são principalmente as maiores ETES, e devido ao maior consumo de funcionários nas ETES com mais operadores. Os gastos com os serviços de vigilância se mostraram, com exceções apenas para as três maiores ETES, dentro da mesma faixa na escala logarítmica do gráfico apresentado, FIGURA 5.15 (f), o que também era de se esperar, tendo em vista que o escopo de tais serviços são rondas de equipes de vigilantes com frequências variando para cada estação e conforme demanda.

5.4 Comparação com a sazonalidade

Através de informações disponíveis no sítio eletrônico do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, os volumes de chuva em uma estação central à área de distribuição das ETES foram contrapostos com a soma das vazões afluentes às estações afim de se verificar a influência do aporte de águas de chuva nos custos operacionais. Os dados foram analisados utilizando-se valores normalizados, ou seja, as vazões mensais foram divididas pela vazão média anual. Da mesma forma procedeu-se com os custos operacionais. Tal medida foi necessária para evitar que ETES com elevada vazão ou alto custo operacional influenciassem o resultado das demais.

A TABELA 5.10 apresenta os coeficientes de correlação de Spearman encontrados para as diferentes variáveis, sendo que foram utilizadas as medianas dos valores normalizados de cada variável (valores em vermelho indicam correção significativa para $\alpha=0,05$). E a FIGURA 5.16 ilustra estas análises, ao longo dos meses do ano 2016.

TABELA 5.10: Coeficiente de correlação de Spearman para as medianas dos valores normalizados das diferentes variáveis ao longo dos 12 meses do ano.

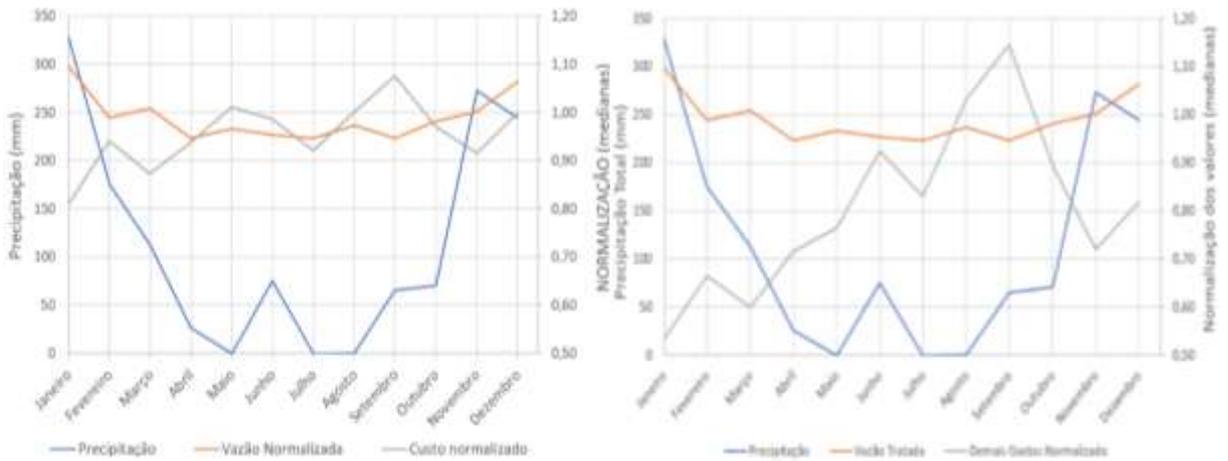
	Precipitação	Vazão	Custo Op.	Pessoal	Energia elétrica	Gestão de lodo	Demais gastos
Precipitação	1,000	0,785	-0,501	-0,581	-0,326	0,196	-0,511
Vazão	0,785	1,000	-0,448	-0,762	-0,063	0,210	-0,545
Custo Op.	-0,501	-0,448	1,000	0,720	0,224	0,284	0,762
Pessoal	-0,581	-0,762	0,720	1,000	0,196	-0,200	0,573
Energia elétrica	-0,326	-0,063	0,224	0,196	1,000	-0,067	0,105
Gestão de lodo	0,196	0,210	0,284	-0,200	-0,067	1,000	0,263
Demais gastos	-0,511	-0,545	0,762	0,573	0,105	0,263	1,000

Pela TABELA 5.10 nota-se correlação significativa para a vazão em função da precipitação, o que mostra a influência das águas de chuva nas vazões que aportam às ETEs. Correlação significativa também foi encontrada entre o custo operacional e os gastos com Pessoal e Demais gastos.

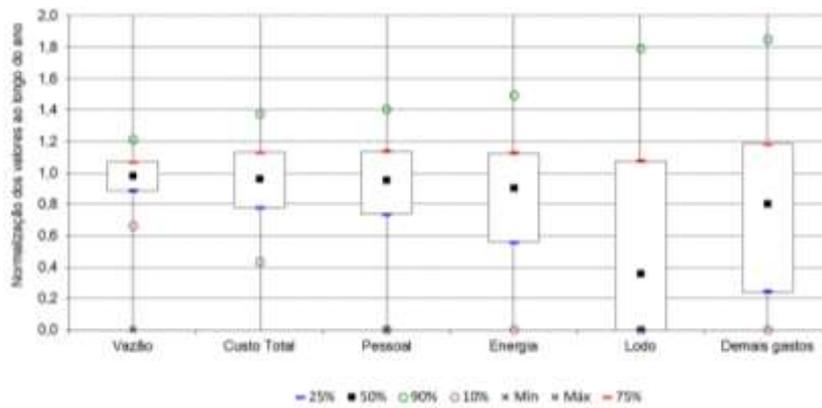
Apesar de ter sido encontrada correlação entre os volumes de chuva e o aumento das vazões de esgoto – FIGURA 5.16 (a), ao se analisar a influência da sazonalidade nos custos operacionais não se obteve correção significativa, o que indica pouca influência da vazão de infiltração nos custos por m³ de esgoto tratado. Tal fato foi diferente do esperado, uma vez que o aporte de vazão às estações ocasionaria uma diluição dos custos operacionais. Porém, nota-se elevada correlação significativa entre os custos operacionais e os demais gastos, que não são fixos e variam ao longo do ano, assim, a variação dos demais gastos pode ter contribuído para a baixa correlação dos custos operacionais com a vazão tratada.

Aprofundando esta análise, foram efetuadas análises de correlação entre a vazão total tratada e a os “Demais Gastos” – FIGURA 5.16 (b), com base na hipótese de que os gastos com manutenção e equipamentos podem variar ao longo do ano em função do acréscimo de vazões, ou seja, com o maior aporte de esgoto e funcionamento por mais tempo de equipamentos ocorreriam mais manutenções. Todavia, também não foi encontrada correlação significativa.

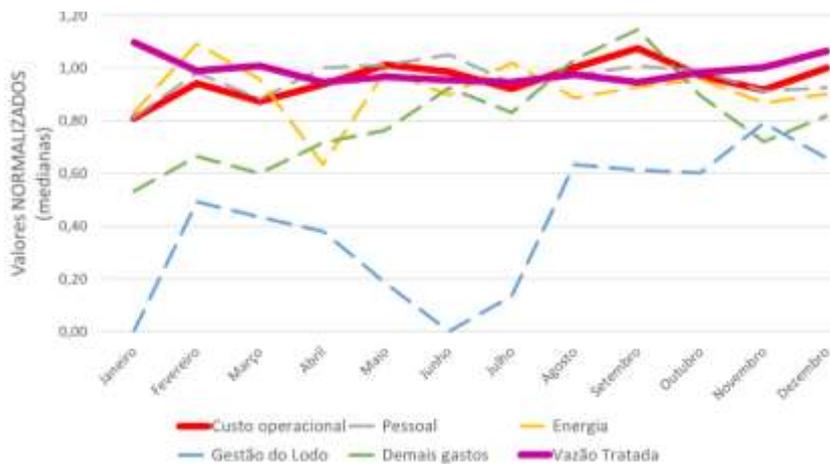
Pelos gráficos de box-plot, FIGURA 5.16 (c), chama a atenção a grande variação dos gastos com transporte do lodo e demais gastos. Nestes gráficos, para melhorar a visualização, foram suprimidos os valores máximos através de ajustes de escala.



(a) Vazão Trat. x Precip. Total (mm) x Custo Op. (b) Vazão Trat. x Precip. Total (mm) x Demais gastos



(c) Gráficos “box plot” para os valores normalizados das diferentes variáveis ao longo do ano.



(d) Variação das diferentes variáveis ao longo do ano de 2016 (valores normalizados).

FIGURA 5.16: Análise dos efeitos da sazonalidade nos custos operacionais.

Nota-se também, grande aumento na mediana dos “Demais gastos” nos meses de Agosto e, principalmente, Setembro. Tal variação foi carregada por serviços de manutenção que oneraram os custos operacionais, com destaque para as ETEs 01 e 05, no mês de Agosto, e ETEs 06, 17, 18, 25 e 35, em Setembro. Nesses meses essas ETEs tiveram os “Demais gastos” mais de quatro vezes maiores do que a média anual, sendo que na ETE 06, em Setembro, os gastos com manutenção aumentaram 7,61 vezes.

Essa afirmação permite atentar para a importância dos custos de manutenção nos estudos de viabilidade econômica e financeira, sendo que, na grande maioria dos casos e uma vez que não é possível a previsão da frequência ou magnitude de tais ocorrências, estes gastos não são considerados, sendo analisados apenas os custos de operação. Assim, durante os estudos de viabilidade, seria interessante a elaboração e utilização de uma matriz de riscos de manutenção de equipamentos e componentes do sistema, como queima precoce de motores, desgaste de rotores e volutas, trincas em paredes de reatores ou rotação das calhas de coleta de efluentes, que são problemas mais comuns, para auxílio à decisão.

Analisando-se graficamente os diferentes custos operacionais médios ao longo do ano – FIGURA 5.16 (d), chama a atenção a redução dos gastos com energia elétrica no mês de Abril, que acompanhou uma leve redução de vazão tratada e, principalmente, a grande variação de vazão dos gastos com gestão de lodo, sendo que em dois meses a mediana dos gastos foi nula. Como explicação, além do fato de que em várias ETEs não foram apresentados gastos com gestão de lodo (ETEs onde o lodo é tratado em outras maiores), tem-se também o fato de que os serviços de descarte e tratamento de lodo (coleta com caminhão de sucção em alguns casos) ocorrem com grande espaçamento temporal, em especial nas ETEs menores.

5.5 Oportunidades de melhorias

Com base nos dados analisados, nota-se a importância de se otimizar os gastos com pessoal, que tiveram uma representatividade de 72% dos gastos totais das estações de tratamento, seja investindo em equipes “volantes”, que poderiam atender a várias ETEs, através de uma escala de serviços, coletas e amostras, ou investindo em sistemas de telecomunicação, telemedição e telecontrole, para reduzir o número de operadores. Porém, esta última aumentaria os custos de implantação das unidades. Outra ação, que poderia contribuir com a criação de equipes volantes, seria a negociação, junto aos órgãos ambientais, para reduzir a frequência de coletas

e amostras com base em resultados anteriores, redução que poderia ser escalonada, sendo mais coletas em início de operação e menos à medida em que os resultados se estabilizarem.

Ações de educação ambiental e de cunho social, visando sensibilização da população ao entorno das ETEs quanto à importância do tratamento e os seus benefícios para a comunidade poderiam auxiliar na redução do vandalismo e furtos nas estações, o que poderia reduzir os gastos com vigilância. Estas ações também poderiam aumentar a taxa de adesão da população aos sistemas públicos de coleta, reduzindo a ociosidade das ETEs.

Nesta linha, a realização de pesquisas de adesão da população ao sistema de esgotamento municipal, para verificar o percentual de imóveis que irão se conectar ao sistema público de coleta quando da conclusão das obras. Esta pesquisa pode embasar decisões de etapalização das unidades das ETEs.

Já o mapeamento de equipamentos com maior índice de defeitos, seguido de manutenção preventiva nestes equipamentos, elencados por risco ao processo e probabilidade de defeito, é uma ação que, se já não estiver sendo realizada, poderia reduzir de forma significativa os custos com manutenção das unidades, que também tiveram grande representatividade dentre os demais gastos. Os demais gastos poderiam ainda ser reduzidos com a economia de água, seja otimizando as dosagens de polímero para a desidratação do lodo, seja analisando e adquirindo polímeros mais eficientes, ou ainda buscando perdas de água em vazamentos ou otimizando o consumo interno, especialmente em grandes estações. Os gastos com água poderiam ser reduzidos também com o estudo da utilização do efluente da ETE para dosagem dos polímeros, reduzindo assim o consumo de água tratada da ETE.

Também foi notado que os gastos com manutenção se mostraram com grande variação ao longo do ano, assim, é interessante a elaboração de uma matriz de riscos, com probabilidades e custos estimados, para utilização nos estudos de viabilidade econômico financeira.

Os gastos com energia elétrica poderiam ser reduzidos com o estudo e aquisição de equipamentos mais eficientes e otimização da concentração de ar através da medição em tempo real de concentrações de parâmetros específicos para os tanques de lodos ativados (como exemplo ter-se-ia o nitrogênio amoniacal e o pH). E nas ETEs onde não estiverem sendo

utilizados, aquisição de inversores de frequência para otimização dos sistemas de bombeamento.

Por último, para a transporte do lodo que, apesar de não ter tido grande representatividade nos gastos totais das ETEs, com exceção das ETEs maiores, deve-se tentar reduzir os volumes de lodo gerados através do adensamento mais eficiente, dosagens e polímeros mais eficazes e otimização das distâncias de destinação final do lodo. E é muito importante, também, que todos os gastos com lodo sejam contabilizados, em especial nas ETEs pequenas, com controle de volumes removidos e gastos no processo.

6. CONCLUSÕES

Neste trabalho foram elaborados diversos gráficos e tabelas para condensar e compilar os dados e facilitar a extração de informações. Foram realizados, também, testes estatísticos, que foram importantes tanto para confirmar hipóteses previamente estabelecidas, como para refutar outras, ou seja, alguns resultados esperados puderam ser confirmados, e outros rejeitados. De acordo com os testes de aderência, foi constatado que os dados não seguem uma distribuição normal, ou seja, não são paramétricos. Com isso, foi necessário o uso de testes não paramétricos.

Foi verificado que os custos por metro cúbico de esgoto tratado apresentaram grande variação de uma ETE para outra, com grande influência da vazão tratada nos custos operacionais. Foi encontrada a mediana geral para o custo operacional das estações analisadas de R\$ 0,96/m³, valor próximo e / ou dentro das faixas de valores reportadas na literatura consultada. O maior custo operacional foi de R\$ 4,67/m³, para a ETE 04, com equivalente populacional menor do que 5.000 habitantes e cujo tratamento é realizado por reator UASB. Contudo, essa ETE tem 56% de capacidade ociosa, sendo que os custos operacionais seriam de R\$ 2,05/m³, caso operasse em plena capacidade. Além disso, esta estação é localizada em área de risco, necessitando de vigilância constante, o que eleva o custo operacional. Já o menor custo operacional foi de R\$ 0,13/m³, para a ETE 43, com equivalente populacional maior do que 50.000 habitantes e processo de tratamento por reatores UASB seguidos de filtros biológicos percoladores. Foi observado que a maior despesa das ETEs foi com “Pessoal” (média geral de 72% / mediana de R\$ 0,73/m³).

Analisando-se apenas os processos de tratamento, o processo do tipo Lagoas teve 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 da maioria das ETEs de menor porte, que também tiveram a maior mediana de custos operacionais. Analisando-se separadamente por faixas de vazão, especificamente na faixa de maior porte (equivalente populacional maior do que 50.000 habitantes), o processo de tratamento com menor mediana de custos operacionais foi o UASB/UASB+Pós. Com base nos testes estatísticos realizados, a comparação entre diferentes tecnologias só deve ser realizada para ETEs de mesmo porte, sendo que pelo teste de Kruskal-Wallis, seguido de Dunn, na análise dos grupos divididos por equivalente populacional, foi observado que as medianas de todos os

grupos se diferenciam entre si. Com isso, e com base na análise dos custos operacionais para as ETEs de porte superior e para os grupos de UASB/UASB+Pós e Sistemas Aerados, ficou explicitado menor custo operacional do primeiro processo.

Na análise para os diferentes portes pode-se perceber similaridades na distribuição dos gastos nas ETEs com equivalente populacional menor do que 5.000 habitantes e entre 5.000 e 50.000 habitantes, cujos percentuais de gastos ficaram próximos. Em ambos os grupos, os gastos com o “Transporte de Lodo” foram pouco expressivos (< 5%), com diversas estações sem custo algum com o lodo, o que pode ser explicado pelo fato da destinação do lodo de algumas ETEs menores estar inclusa dentro de ETEs maiores. Por outro lado, nota-se que a estratificação dos custos operacionais aumentou conforme a vazão e o nível do tratamento aumentaram, sendo que nas ETEs maiores (> 50.000 habitantes) o “Transporte do Lodo” teve o maior percentual de todos os agrupamentos (5%), provavelmente pelo maior volume, e os gastos com “Energia Elétrica” foram de 28%. Segundo o teste de Spearman, foi observada forte correlação, conforme esperado, entre vazão e porte, e correlação regular entre o porte e os custos operacionais das unidades, sendo observado que o menor custo operacional foi das ETEs para atender 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 relativo menor, sendo mais de 3 vezes inferior do que o custo das ETEs de menor porte, que apresentaram os maiores custos operacionais. Esta análise permite vislumbrar vantagens na centralização do tratamento de esgotos durante a concepção ou para otimização dos sistemas de esgotamento sanitário de cada bacia/município, mediante estudos comparativos de viabilidade de implantação de sistemas de coleta.

Pela avaliação da ociosidade das estações nota-se a grande diferença entre os custos operacionais calculados a partir da vazão real afluyente à estação e a partir da vazão para a qual a estação foi projetada. Foi percebida drástica redução na mediana geral dos custos das ETEs com a vazão de projeto, que caiu para menos da metade (R\$ 0,45/m³) da mediana geral das ETEs com a vazão real. Analisando-se separadamente, todos os agrupamentos tiveram grandes reduções nos custos operacionais, em especial o grupo de processos UASB/UASB+Pós. Esta análise permite atentar para a importância do planejamento da implantação das unidades do sistema de esgotamento, assim como a etapalização de unidades, para que as vazões de início de operação não sejam tão inferiores às vazões de projeto.

Apesar de ter sido encontrada correlação entre os volumes de chuva e o aumento das vazões de esgoto, ao se analisar a influência da sazonalidade nos custos operacionais, não se obteve correção significativa, o que indica pouca influência da vazão de infiltração nos custos por m³ de esgoto tratado. Tal fato foi diferente do esperado, uma vez que o aporte de vazão às estações ocasionaria uma diluição dos custos operacionais. Porém, nota-se elevada correlação significativa entre os custos operacionais e os demais gastos, que não são fixos e variam ao longo do ano, assim, a variação dos demais gastos pode ter contribuído para a baixa correlação dos custos operacionais com a vazão tratada. Essa afirmação permite atentar para a importância dos custos de manutenção nos estudos de viabilidade econômica e financeira, sendo que, na grande maioria dos casos, e uma vez que não é possível a previsão da frequência ou magnitude de tais ocorrências, estes gastos não são considerados, sendo analisados apenas os custos de operação e implantação.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS / RECOMENDAÇÕES

A comparação dos processos unicamente nos custos por metro cúbico esconde o fato de que os processos de tratamento analisados têm diferentes objetivos de tratamento, sendo que a maioria visa apenas a remoção de matéria orgânica e sólidos suspensos. Como exemplo tem-se as lagoas de maturação e o tratamento com lodos ativados, que apresentaram os maiores custos de construção segundo a bibliografia consultada, todavia, estes tratamentos podem remover até quatro categorias de organismos patogênicos e quantidades substanciais de amônia.

Verifica-se a necessidade de melhoria da metodologia apresentada, com a separação dos gastos com monitoramento e laboratório e uma divisão mais precisa dos gastos com a gestão de lodo, e a expansão deste controle, de suma importância na gestão operacional, para outras unidades da empresa.

Vale ressaltar que os custos de construção unitários expressos em faixas de valores são muito úteis em estudos preliminares, quando o projeto detalhado não está pronto. Contudo, os custos de implantação das unidades, a área disponível, a comunidade ao redor, a topografia do terreno, as distâncias de aterros, devem ser utilizadas, juntamente com os custos operacionais, nos estudos de viabilidade.

Todavia, os custos não mensuráveis do tratamento de esgoto, como a despoluição dos córregos, redução de vetores de doenças e os demais benefícios ao meio ambiente, também devem ser considerados nas etapas de implantação dos sistemas de esgotamento.

Por fim, recomenda-se a criação de equipes volantes, que poderiam atender a várias estações próximas, e automatização das estações visando economias com pessoal. Também é interessante a elaboração de estudos de eficiência energética e maior controle dos gastos com lodo.

Recomenda-se, também, novas pesquisas neste sentido, visando otimização e eficiência operacional, a saber:

- Estudo comparativo entre os custos por operação remota ou à distância com os custos com funcionários;

- Estudo econômico financeiro sobre a utilização de inversores de frequência em elevatórias e equipamentos de pequena potência;
- Estudo econômico financeiro de etapalização ótima das unidades, levando-se em conta os custos de implantação e operação;
- Estudo para utilização do efluente tratado para a dosagem de polímero, verificando se há perdas na qualidade do produto final;
- Estudos comparativo de fortificação da segurança das unidades, instalação de câmeras e monitoramento remoto visando a remoção dos vigias fixos nas ETEs, com a consequente redução dos gastos contínuos com serviços de vigilância.

8. REFERÊNCIAS

ARAÚJO, J. I. M. Panorama do tratamento de esgoto no Brasil: tecnologias e eficiências / Jéssica Ingrid Matos Araújo. – 2017. 96 p. Orientador: Carlos Augusto de Lemos Chernicharo. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

ARSLAN, Selçuk; SAHIB, Alaa Abdulradha. Comparison of energy efficiencies of a small centrifugal pump at constant and variable speed operations. *Tarim Bilimleri Dergisi – Journal of Agricultural Sciences*, v. 22, p. 444-454, 2016.

BAPTISTA, F, R, M.; RODRIGUES, L, C, V. Avaliação dos custos de operação e manutenção de ETEs. *Revista Hydro*, Ed. Novembro/2014. 24º Encontro Técnico da AESABESP, 2013, São Paulo. Disponível em: <<http://www.arandanet.com.br/midiaonline/hydro/2014/novembro/index.html>>. Acessado em 31 de Janeiro de 2018.

BARROS, R. T. de V. et. alii. Saneamento. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 1995. 221p. (Manual de saneamento e proteção ambiental para os municípios, 2).

BRASIL. Atlas dos esgotos: despoluição de bacias hidrográficas / Agência Nacional de Águas, Secretaria de Saneamento Ambiental. – Brasília: ANA. 2017. 88 p. il.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. Banco de Dados Meteorológico para Ensino e Pesquisa – BDMEP. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>. Acesso em: 31.jan.2018.

BRASIL. Lei 11.445, de 5 de Janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico.

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.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. Resolução CONAMA nº 20, de 20 de Junho de 1986. – In: Resoluções, 1986. Disponível em: <http://www.mma.gov.br> Acesso em: 16.out.2016.

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.

BRUNNER, N; STARKL, M. Financial and economic determinants of collective action: the case of wastewater management. *Environmental Impact Assessment Review*, nº 32, p. 140-150. 2012.

COPAM, Conselho Estadual De Política Ambiental do Estado de Minas Gerais. *Deliberação Normativa COPAM nº 74, de 9 de Setembro de 2004*. Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, de empreendimentos e atividades modificadoras do meio ambiente passíveis de autorização ambiental de funcionamento ou de licenciamento ambiental no nível estadual, determina normas para indenização dos custos de análise de pedidos de autorização ambiental e de licenciamento ambiental, e dá outras providências. 2004. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=37095> Acesso em: 13 Jan. 2018.

COSSSENZO, L. C. Tarifa social dos serviços de abastecimentos de água e esgotamento sanitário no Distrito Federal. IX Congresso Brasileiro de Regulação, 17 e 20 de Agosto, Brasil. 2015.

CRUZ, K. E. A.; RAMOS, S. F. Em busca de uma regulação econômica adequada ao sistema de saneamento: uma análise da regulação sob a ótica da universalização no acesso e da eficiência econômica. 28º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 4 a 8 de Outubro de 2015. Rio de Janeiro / RJ.

EGGIMANN, Sven; TRUFFER, Bernhard; MAURER, Max. Economies of density for on-site waste water treatment. *Water Research*, v. 101, p. 476–489, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2016.06.011>>.

FRAAS, A. G.; MUNLEY, V. G. Municipal Wastewater Treatment Cost. *Journal of Environmental Economics and Management*, nº 11, p. 28-38. 1984

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.

GALVÃO JUNIOR, A.C. Desafios para a universalização dos serviços de água e esgoto no Brasil. *Ver Panam Salud Publica*. 2009; 25(6):548-56.

GALVÃO JÚNIOR, A.C. Regulação: indicadores para a prestação de serviços de água e esgoto. 2.ed. / Alceu de Castro Galvão Júnior, Alexandre Caetano da Silva, Editores, - Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora Ltda.; 2006. 204 p.: il.

HELLER, L. Acesso aos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário no Brasil: considerações históricas, conjunturais e prospectivas. Centre for Brazilian Studies. University of Oxford. Working Paper Number CBS-73-06. Junho de 2006.

HERNÁNDEZ-SANCHO, F; SALA-GARRIDO, R. Technical efficiency and cost analysis in wastewater treatment processes: a DEA approach. *Desalination*, nº 249, p. 230-234. 2009.

HERNANDEZ-SANCHO, F.; MOLINOS-SENANTE, M.; SALA-GARRIDO, R. Cost modelling for wastewater treatment processes. *Desalination*, v. 268, n. 1–3, p. 1–5, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2010.09.042>>.

HERNÁNDEZ-SANCHO, F; MOLINOS-SENANTE, M; SALA-GARRIDO, R. Economic valuation of environmental benefits from wastewater treatment processes: an empirical approach for Spain. *Science of the Total Environment*, nº 408, p. 953-957. 2010.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *IBGE divulga as estimativas populacionais dos municípios para 2017*. 2017. Disponível em: <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-denoticias/releases/16131-ibge-divulga-as-estimativas-populacionais-dos-municipios-para2017.html>>. Acesso em: 13 Jan. 2018.

JARDIM JUNIOR, ATILA MORAES. Custo-efetividade e padrões ambientais: implicações para tratamento de esgotos no Brasil. *Economia*, 2006.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. 2014 Tratamento de esgotos domésticos, 7 ed. ABES, Rio de Janeiro. Tratamento de esgotos domésticos / Eduardo Pacheco Jordão, Constantino Arruda Pessôa – 7ª edição – Rio de Janeiro, 2014 – 1050 páginas.

KLEFLENS, P. C. O. O Biplot na análise fatorial multivariada / Paula Cristina de Oliveira Klefens. Piracicaba. 2009. 102 p. il. Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2009.

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>>.

LEONETI, Alexandre Bevilacqua; OLIVEIRA, Sonia Valle Walter Borges De; OLIVEIRA, Marcio Mattos Borges De. O equilíbrio de Nash como uma solução para o conflito entre eficiência e custo na escolha de sistemas de tratamento de esgoto sanitário com o auxílio de um modelo de tomada de decisão. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 15, n. 1, p. 53–64, 2010.

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>>.

MBURU, Njenga *et al.* Performance comparison and economics analysis of waste stabilization ponds and horizontal subsurface flow constructed wetlands treating domestic wastewater: A case study of the Juja sewage treatment works. *Journal of Environmental Management*, v. 128, p. 220–225, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.05.031>>.

MINGOTI, S. A. Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada / Sueli Aparecida Mingoti. – Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005. 297 p. il.

MOLINOS-SENANTE, M; HERNÁNDEZ-SANCHO, F; SALA-GARRIDO, R. Economic feasibility study for wastewater treatment: a cost-benefit analysis. *Science of the Total Environment*, nº 408, p. 4.396-4402. 2010.

MOLINOS-SENANTE, M; GARRIDO-BASERVA, M; REIF, R; HERNANDEZ-SANCHO, F; POCH, M. Assessment of wastewater treatment plant design for small communities: environmental and economic aspects. *Science of the Total Environment*, 11-18, p. 427-428. 2012.

MOLINOS-SENANTE, M.; HERNÁNDEZ-SANCHO, F.; SALA-GARRIDO, R. Cost-benefit analysis of water-reuse projects for environmental purposes: A case study for spanish wastewater treatment plants. *Journal of Environmental Management*, v. 92, n. 12, p. 3091–3097, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.07.023>>.

MOLINOS-SENANTE, Mari??a *et al.* Assessing the sustainability of small wastewater treatment systems: A composite indicator approach. *Science of the Total Environment*, v. 497–498, p. 607–617, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.08.026>>.

MOLINOS-SENANTE, María; HERNÁNDEZ-SANCHO, Francesc; SALA-GARRIDO, Ramón. Economic feasibility study for wastewater treatment: A cost-benefit analysis. *Science of the Total Environment*, v. 408, n. 20, p. 4396–4402, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.07.014>>.

MUGA, Helen E.; MIHELICIC, James R. Sustainability of wastewater treatment technologies. *Journal of Environmental Management*, v. 88, n. 3, p. 437–447, 2008.

NARZETTI, Daniel Antonio; MARTINS, Ricardo. FERRAMENTA DE ANÁLISE DE ÍNDICES OPERACIONAIS , FINANCEIROS E. p. 1140–1148, 2015.

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.

OLIVEIRA, S. C. Tratamento estatístico de dados ambientais – ESA944. Programa de Pós Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SMARH. Apostila. 139 p. 2017.

OLIVEIRA, S. M. A. C. Análise de desempenho e confiabilidade de estações de tratamento de esgotos / Sílvia Maria Alves Corrêa Oliveira. – 2006. 231 f., enc. : il. Orientador: Marcos von Sperling. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos.

OLIVEIRA, T. G. de. Faces da privatização: a transição do modelo de gestão dos serviços de água e esgotos em Cachoeiro de Itapemirim – ES / Thiago Guedes de Oliveira – 2010. 130f. enc: il. Orientadora: Sonaly Cristina Rezende Borges de Lima. Co-orientador: Léo Heller. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos.

RASHID, Md M.; HAYES, Donald F. Needs-based sewerage prioritization: Alternative to conventional cost-benefit analysis. *Journal of Environmental Management*, v. 92, n. 10, p. 2427–2440, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.05.002>>.

REZENDE, S. C; HELLER, L. O Saneamento no Brasil: políticas e interfaces / Sonaly Cristina Rezende, Léo Heller. 2. Ed. Ver. E ampl. – Belo Horizonte: Editora UFMG, 2008. 387p.: il. – (Ingenium)

RIBEIRO, B. A. L.; EGUTE, N. S.; LINS, G. A.; ALMEIDA, J. R. Valoração econômica de recurso ambiental (VERA) de cinco áreas de preservação ambiental do Rio de Janeiro. 28º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – 4 a 8 de Outubro de 2015. Rio de Janeiro / RJ / Brasil.

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*, nº 45, p. 5997-6010. 2011.

SALIBA, P. D. Avaliação do desempenho de sistema de tratamento de esgoto sanitário composto de reator UASB seguido de lodo ativado: estudo de caso da ETE Betim Central – MG / Pollyane Diniz Saliba. – 2016. Xii, 143 f., enc.: il. Orientador: Marcos von Sperling. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

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.

SILVA, Gustavo H. R. Da; NOUR, Edson a. a. Reator compartimentado anaeróbio/aeróbio: sistema de baixo custo para tratamento de esgotos de pequenas comunidades. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 9, n. 2, p. 268–275, 2005.

TONETTI, Adriano L. *et al.* Avaliação de um sistema simplificado de tratamento de esgotos visando a utilização em áreas rurais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 2, p. 227–234, 2010.

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.

TSAGARAKIS, Konstantinos P. Does Size Matter? Operating Cost Coverage for Water Utilities. *Water Resources Management*, v. 27, n. 5, p. 1551–1562, 2013.

UGGETTI, Enrica *et al.* Sludge treatment wetlands: A review on the state of the art. *Bioresource Technology*, v. 101, n. 9, p. 2905–2912, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2009.11.102>>.

VANROLLEGHEM, P A *et al.* Integration of wastewater treatment plant design and operation - A systematic approach using cost functions. *Water Science and Technology*, v. 34, n. 3–4, p. 159–171, 1996.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto / Marcos von Sperling. – 4. Ed. – Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. 472p.: il. – (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias; v.1).

VON SPERLING, M., SALAZAR, B.L. (2013). Determination of capital costs for conventional sewerage systems (collection, transportation and treatment) in a developing country. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, **3** (3). pp. 365-374.

VON SPERLING, Marcos Von. *Wastewater characteristics, treatment and disposal*. [S.l: s.n.], 2008. v. 45. Disponível em: <<http://www.cro3.org/cgi/doi/10.5860/CHOICE.45-2633>>.

VON SPERLING, M. Urban wastewater treatment in Brazil / Marcos von Sperling. P. cm. Inter-American Development Bank – IDB Technical Note; 970). 2016.

VUCIJAK, B.; CERIC. A. Approach to economy analysis of water supply and sewerage investments projects. *Annals os DAAAM for 2010 & Proceedings os the 21st International DAAAM Symposium, Volume 21, n° 1, ISSN 1726-9679. ISBN 978-3-901509-73-5, Editor B. Katalinic, Published by DAAAM International, Viena, Austria, EU, 2010.*

YAMAN, Kemal; OLHAN, Emine. Impact of Sewage Sludge Application on Yield , Physical Input and Costs of Wheat Ar ı tma Çamuru Kullan ı m ı n ı n Bu ğ day ı n Verim , Fiziki Girdi ve Maliyetleri Üzerindeki Etkisi. *Tarım Birimleri Dergisi - Journal of Agricultural Sciences*, v. 17, p. 157–166, 2011.

YENGEJEH, Reza; DAVIDEH, Kamal; BAQERI, Ahmad. Cost/Benefit Evaluation Of Wastewater Treatment Plant Types (SBR, MLE, Oxidation Ditch), Case Study: khuzestan, Iran. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*, v. 4, n. 41, p. 55–60, 2014. Disponível em: <http://bepls.com/dec_2014/10.pdf>.