

Avaliação de plataforma de simulação on-line para auxílio na tomada de decisão para escolha de Sistemas de Tratamento de Esgoto municipais: o Simulador ETE_x

KARINE ANANIAS CARVALHO

karine.carvalho2010@hotmail.com

SONIA VALLE WALTER BORGES DE OLIVEIRA

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

soniavw@terra.com.br

ALEXANDRE BEVILACQUA LEONETI

ableoneti@usp.br

MARCIO MATTOS BORGES DE OLIVEIRA

mmattos@usp.br

Avaliação de plataforma de simulação *on-line* para auxílio na tomada de decisão para escolha de Sistemas de Tratamento de Esgoto municipais: o Simulador ETE_x

Resumo

O tratamento de esgoto possui relação direta com a saúde e a cidadania, bem como com a qualidade ambiental. Os diagnósticos mundiais mostram uma carência nesse quesito do saneamento básico, sendo que a pesquisa de 2017 no Brasil revelou uma taxa de apenas 42,67% de esgoto tratado em relação ao gerado. Na expectativa de auxiliar os gestores, bem como prefeitos e governantes, foi desenvolvido um modelo matemático, posteriormente transformado em plataforma *on-line* gratuita para auxílio à tomada de decisão na escolha de sistemas de tratamento de esgoto municipais: o Simulador ETE_x. O objetivo geral da presente pesquisa foi avaliar o simulador, a partir de testes com dados reais. Trata-se de uma pesquisa aplicada, com uso do simulador disponibilizado em página da Internet (<http://www.etex.eng.br/>). A execução do projeto foi realizada em cinco etapas principais: revisão bibliográfica, conhecimento do Simulador ETE_x, coleta de dados, testes do simulador na plataforma e no *software* original em Excel, e identificação dos ajustes necessários. Os testes mostraram que o simulador tem capacidade de fazer o pré-cálculo e orçamento de seis sistemas de tratamento, compostos por processo anaeróbio seguido de aeróbio, e possibilitaram a indicação de alguns ajustes para facilitar o uso do simulador.

Palavras-chave: Sistemas de tratamento de esgoto. Tomada de decisão. Esgoto municipal. Saneamento. Simulador ETE_x.

Evaluation of an online simulation platform to aid in the decision-making process for choosing Municipal Sewage Treatment Systems: the ETE_x Simulator

Abstract

The sewage treatment has a direct relation with health and citizenship, as well as environmental quality. The world diagnoses show a lack in this area of basic sanitation, and the 2017 survey in Brazil revealed a rate of only 42.67% of treated sewage in relation to that generated. In the expectation of assisting managers, as well as mayors and governors, a mathematical model was developed, later transformed into a free online platform to aid decision making in the choice of municipal sewage treatment systems: the ETE_x Simulator. The overall objective of the present research was to evaluate the simulator, from tests with real data. This is an applied research, using the simulator made available on the Internet page (<http://www.etex.eng.br/>). The execution of the project was carried out in five main stages: bibliographic review, knowledge of the ETE_x Simulator, data collection, simulator tests on the platform and original Excel software, and identification of necessary adjustments. The tests showed that the simulator has the ability to pre-calculate and budget six treatment systems, composed by anaerobic process followed by aerobic, and made possible the indication of some adjustments to facilitate the use of the simulator.

Keywords: Wastewater treatment plant. Decision making. Municipal sewage. Sanitation. ETE_x Simulator.

1 INTRODUÇÃO

O saneamento básico, mais especificamente a questão do tratamento de esgoto, é tema de extrema relevância e preocupação em todo o mundo, pois trata consequências de saúde pública (FERREIRA et al., 2016) e afeta diretamente a cidadania das pessoas.

De acordo com o último diagnóstico do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, ano-base 2015 (SNIS, 2017b), apenas 42,67% do esgoto gerado no Brasil é tratado. A região Norte é a que apresenta a pior situação, pois apenas 16,42% do esgoto é direcionado ao tratamento e o índice de atendimento total corresponde a 8,66%. Nem mesmo a região Centro-Oeste, que apresenta o melhor desempenho, consegue apresentar resultados muito satisfatórios, pois apenas 50,22% do seu esgoto é tratado.

Além da relação direta com a saúde e a cidadania, o tratamento de esgoto tem forte influência em problemas ambientais e questões econômicas. Sua efetivação pode proporcionar uma melhor qualidade de vida, com ganhos sociais, ambientais e econômicos. A Organização Mundial de Saúde (OMS) estima que para cada dólar investido em água e saneamento, economiza-se 4,3 dólares em saúde global (ONUBR, 2014). Segundo a OMS, 2,5 bilhões de pessoas sofrem com falta de acesso a saneamento básico, ficando vulneráveis a doenças como diarreia, cólera, hepatite e febre tifoide (ONUBR, 2014).

O Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) lançou em dezembro de 2015 a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, com os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (PNUD, 2015). O objetivo 6 é “Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e o saneamento para todos”, a partir do acesso universal à água, melhoria da qualidade da água, redução à metade a proporção de águas residuais não tratadas, incluindo a ampliação da cooperação internacional e do “apoio ao desenvolvimento de capacidades para os países em desenvolvimento em atividades e programas relacionados à água e ao saneamento” (PNUD, 2015, p. 21-22).

Apesar da Lei Federal nº. 11.445 de 05/01/07 exigir a obrigatoriedade de os municípios elaborarem seus respectivos Planos Municipais de Saneamento Básico (BRASIL, 2007), muitos municípios ainda não possuem sistemas de tratamento de esgoto por não terem informações iniciais, como valor das obras, dos projetos, da operação e manutenção do sistema, dimensão necessária do terreno para implantação, muito menos das alternativas mais viáveis para as características do esgoto de dado local. Dentre os complexos e conflitantes objetivos, a escolha do melhor sistema de tratamento de esgoto municipal deve buscar a minimização do consumo de energia e outros insumos, minimização de resíduos gerados, minimização de custo de implantação, operação e manutenção, com garantia da eficiência de remoção de poluentes e matéria orgânica, uma vez que deverá atender aos requisitos ambientais do local a ser implantado (LEONETI; OLIVEIRA; PIRES, 2013).

Na expectativa de auxiliar os gestores, bem como prefeitos e governantes, que muitas vezes não possuem conhecimento técnico na área e acabam fazendo escolhas inadequadas, foi desenvolvido um modelo matemático, depois programado na forma de *software* de simulação, a fim de minimizar a lacuna entre a falta de informações e a opção da estação de tratamento mais indicada. O código fonte do *software* de simulação foi registrado no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), sob Protocolo 018150009693 na Unidade DIREG-SP, em 30/09/2015, com número de Processo BR 5120150011014, com denominação “Simulador de planta de tratamento de esgotos”. A intenção é aprimorar o simulador para que ele atenda com qualidade não só o Brasil, mas outros países pelo mundo. Neste artigo, o *software* será denominado “Simulador ETE_x”, utilizando-se a sigla de Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), muito usada em atividades de saneamento, e “x” de uma variável de decisão.

O objetivo geral da presente pesquisa foi avaliar a plataforma de simulação *on-line* gratuita ETE_x para auxílio à tomada de decisão para escolha de sistemas de tratamento de esgoto municipais, a partir de testes com dados reais. Como objetivos específicos, o estudo

buscou: analisar a situação do Brasil e do mundo quanto ao esgotamento sanitário; identificar formas e ferramentas de escolha de sistemas de tratamento de esgoto; criar bancos de dados de estações de tratamento reais para testes no Simulador ETE_x; comparar sistemas existentes com a indicação feita pelo Simulador ETE_x.

Espera-se contribuir para que sejam identificadas possíveis falhas ou inconsistências do Simulador ETE_x, com vistas a ajustes e posterior divulgação global para uso, tendo como foco a deficiência mundial de sistemas de tratamento de esgoto municipais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir é feita uma apresentação sintética sobre a situação do saneamento no Brasil e em alguns países populosos; são relacionados os principais sistemas de tratamento biológico utilizados; e a importância de uma escolha eficiente e eficaz do sistema de tratamento, com foco em aspectos econômicos, sociais e ambientais.

2.1 Situação do tratamento de esgoto no Brasil e outros países populosos

Segundo Silva et al. (2016, p. 57), embora o Brasil possua “uma grande quantidade e diversidade no tocante a recursos hídricos [...]” está “na contramão desta riqueza” devido à “má gestão pública e o uso indiscriminado dos nossos rios, lagos e águas subterrâneas”.

O tratamento do esgoto sanitário é fundamental para se alcançar a qualidade ambiental. Tundisi (2013, p. 228) observa que a poluição industrial no Brasil tem recebido maior controle e tratamento que os esgotos domésticos, “resultado da gestão ineficiente em âmbito municipal”.

Segundo Souza e Costa (2016, p. 615), a hegemonia e “dominância das empresas estaduais de saneamento condiciona o processo decisório da política pública de saneamento no Brasil”. Esse controle acaba trazendo uma “forte resiliência às inovações propostas no contexto democrático” (SOUZA; COSTA, 2016, p. 615), dificultando melhorias estruturais na Política Nacional de Saneamento, a partir de uma inércia no avanço da cobertura dos serviços.

Segundo o Sistema Nacional de Informações em Saneamento (SNIS, 2017b), o Brasil conta com um índice de esgoto tratado referido à água consumida de apenas 42,7%, mostrando que ainda há muito investimento a ser feito para se alcançar um índice satisfatório, condizente com países mais desenvolvidos.

A China também enfrenta dificuldades com gerenciamento de águas e esgotos. Liddle (2017) apontou que em 2012 a China começou a combater fortemente a poluição, principalmente a das águas. Seu 13º Plano Quinquenal teve como alvo essa questão e em 2015 o governo publicou o Plano de Ação para Prevenção e Controle da Poluição da Água (LIDDLE, 2017). No entanto, suas pesquisas mais recentes apontam que 61,5% da água subterrânea e 28,8% dos rios foram classificados como não adequados para consumo humano (LIDDLE, 2017). Em julho de 2016 deu-se início à construção da maior estação de tratamento de esgoto subterrânea da China. A nova estação de tratamento subterrânea reduzirá o espaço ocupado em superfície, assim como será capaz de conter os ruídos e odores que emanam da estação (IMPELLER, 2016). O avanço também é notado em números. De acordo com Workman (2015), de 2000 a 2014 o número total de estações de tratamentos de águas residuárias aumentou de 481 para 3717. Segundo Liddle (2017), na China são utilizados diversos tipos de sistemas, como o filtro de oxidação; o processo anóxico (ANANOX), que se trata de desnitrificação biológica patenteada em baixa energia, utilizando pré-tratamento anaeróbico e câmara de decantação; bem como reatores em batelada sequencial e *wetlands*.

Na Índia, apesar da população com acesso à água potável ser de 94%, apenas 40% das pessoas têm acesso à rede sanitária, o que não significa que essa porcentagem tenha seu esgoto tratado (IBGE, 2016). A Agence France Presse (2013) divulgou que 80% do esgoto produzido na Índia era descartado sem tratamento algum. Anteriormente, em 2011, o Central Pollution Control Board mostrou que das cerca de 8.000 cidades, apenas 160 delas tinham uma estação

de tratamento e sistema de esgoto instalado (AGENCE FRANCE PRESS, 2013). Karpouzoglou e Zimmer (2016) afirmam que as melhorias são retratadas como impossíveis de alcançar devido à falta de cooperação dos moradores. Complementando, Tortajada (2016) indica que não está havendo melhoria da qualidade das águas por inúmeras razões, incluindo a falta de capacidade de tratamento e o mal planejamento e implementação do mesmo.

A Indonésia é o quarto país mais populoso do mundo (IBGE, 2016), enfrentando, também, problemas de poluição e falta de saneamento básico. O acesso à água potável é de 87% da população (IBGE, 2016), mas o tratamento de esgoto ainda carece de mais planejamento, segundo Kerstens et al. (2016). No país são utilizados diversos sistemas de tratamento de esgoto, como: lagoas facultativa e de maturação; lodos ativados; lagoa aerada; UASB; e reator biológico de contato.

Na Rússia, apenas 10% do esgoto é tratado de acordo com as normas sanitárias nacionais e cerca de 17% é lançada sem qualquer tratamento nas bacias hidrográficas (WWI, 2017). A privatização dos sistemas de abastecimento de água e saneamento é proibida pela legislação atual e a provisão desses serviços para a população é um privilégio do governo local, segundo Saritas, Proskuryakova e Sivaev (2015).

As estatísticas acima mostram a precariedade do tratamento de esgoto nesses países, bem como a baixa taxa de tratamento.

2.2 Sistemas de tratamento de esgoto

Há grande variedade de alternativas de degradação biológica que utilizam os processos aeróbios, anaeróbios ou facultativos, como pode se verificar na literatura sobre o assunto. Dessas alternativas, algumas são mais difundidas, como sistemas de lagoas, lodos ativados, filtro biológico aeróbio e reator anaeróbio de manta de lodo (UASB). Campos (1994) apresenta essas diversas alternativas, além de possíveis junções de sistemas para otimizar o processo (Quadro 1).

Quadro 1 – Algumas alternativas de degradação biológica para tratamento de esgoto

Tipo de Tratamento	Processo Predominante
Disposição no solo	Aeróbio e Anaeróbio
Lagoa facultativa	Aeróbio e Anaeróbio
Sistemas de lagoas tipo australiano	Aeróbio e Anaeróbio
Lagoa aerada + Lagoa de sedimentação	Aeróbio e Anaeróbio
Lodos ativados convencional	Aeróbio
Lodos ativados (mistura completa)	Aeróbio
Valo de oxidação	Aeróbio
Lodos ativados em reator do tipo batelada (<i>batch</i>)	Aeróbio
Poço profundo aerado (" <i>Deep Shaft</i> ")	Aeróbio
Filtro biológico aeróbio	Aeróbio
Filtro anaeróbio	Anaeróbio
Tanque séptico + Filtro anaeróbio	Anaeróbio
Reator anaeróbio de manta de lodo (UASB)	Anaeróbio
Reator anaeróbio compartimentado (com chicanas)	Anaeróbio
Reator anaeróbio de leito fluidificado	Anaeróbio
Reator aeróbio de leito fluidificado	Aeróbio

Fonte: Campos (1994, p. 20-21).

Os sistemas aeróbio e anaeróbio possuem características que geram vantagens ou desvantagens. Essas características devem ser analisadas durante a escolha do processo de tratamento, de acordo com o local a ser implantado.

Para a diminuição da produção de lodo e manutenção de bons índices de eficiência, uma alternativa é a associação de processos biológicos anaeróbios com aeróbios (CAMPOS et al., 1997). Muitos estudos de associação de diferentes processos para pós-tratamento de reatores anaeróbios podem ser encontrados em Chernicharo (2000). A eficiência da integração de processos anaeróbios seguidos de aeróbios vem sendo confirmada desde a década de 1990, como pode ser visto em Wang (1994), que alcançou taxas de remoção da carga orgânica de cerca de 71%, com redução dos custos com implantação (37%), energia (40%) e operação (38%), em comparação com sistemas exclusivamente de lodos ativados. No Brasil, os estudos do Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (PROSAB) mostraram também a eficiência de reatores anaeróbios seguidos de processos aeróbios, como lagoas de estabilização, reatores com biofilme, lodos ativados, filtros biológicos ou lagoas aeradas (CHERNICHARO, 2000).

Uma estação de tratamento de esgoto pode ser composta por várias unidades com diferentes processos de tratamento, sendo que o tratamento pode ser dividido em quatro níveis: preliminar, primário, secundário e terciário.

A definição do melhor sistema de tratamento para um determinado município deve considerar as características locais, como população a ser atendida, temperatura do ar, carga orgânica média presente no esgoto, vazões do esgoto e classificação do rio receptor dos esgotos tratados. Além delas, deve-se avaliar os custos de implantação, manutenção e operação, para que o município possa implantar e manter os sistemas com a mesma eficiência e eficácia pelo período estimado de vida útil.

2.3 Tomada de decisão para escolha de sistemas de tratamento de esgoto municipal

Devido aos diversos parâmetros e variáveis envolvidos na escolha de sistemas de tratamento de esgoto, vários estudos trazem ferramentas ou formas de avaliação para auxiliar os gestores nessa complexa decisão.

Métodos multicriteriais foram utilizados por Zuffo et al. (2002) no planejamento de recursos hídricos, como o ELECTRE II, PROMETHEE II, Programação por Compromisso (CP), Teoria dos Jogos Cooperativos (CGT) e o método Analítico Hierárquico (AHP). A pesquisa teve um intuito mais amplo de mostrar a viabilidade de uso desses métodos na análise de alternativas em problemas envolvendo recursos hídricos. Foi apresentado um estudo de caso na Bacia do rio Cotia, afluente do rio Tietê, sob os temas abastecimento de água, tratamento de esgoto e reuso, a partir de critérios técnicos, econômicos, ambientais e sociais, com a avaliação de nove alternativas pelas cinco ferramentas de decisão. Os cinco métodos apontaram para a mesma alternativa como a melhor, embora a segunda melhor tenha variado em duas alternativas. O estudo mostrou a eficiência dos métodos para esse tipo de decisão.

Tendo em vista a necessidade de auxiliar os gestores, bem como prefeitos e governantes, a solucionar a decisão da melhor estação de tratamento de esgoto para o município, foi desenvolvido em 2004 um *software* para auxílio à tomada de decisão na escolha de sistema de tratamento de esgoto sanitário (OLIVEIRA, 2004), a partir de planilhas elaboradas no programa Excel da Microsoft. O modelo utilizou a associação de processos biológicos anaeróbios com aeróbios para a diminuição da produção de lodo e manutenção de bons índices de eficiência, como indicado por Campos et al. (1997). A ferramenta utilizada no modelo foi a árvore de decisão, onde é possível ver todas as alternativas e seus valores de investimento inicial, operação e manutenção, a partir das variáveis de custo dos dois processos associados. A partir desse *software* foi criado o código fonte que gerou a plataforma de simulação ETEx, foco deste artigo.

Com o intuito de prever o desempenho de estações de tratamento de esgoto (ETE), Hamed, Khalafallah e Hassanien (2004) utilizaram redes neurais artificiais com base em informações históricas. A pesquisa buscou determinar a carga orgânica e a concentração de sólidos suspensos no efluente da estação de tratamento do Cairo, no Egito. Os autores constataram a eficiência e robustez do método na previsão do desempenho da ETE pesquisada.

Nascimento e Heller (2005) discutem a importância da ciência, tecnologia e inovação nas áreas de recursos hídricos e saneamento. Os autores comentam sobre os gargalos de conhecimento básico, desenvolvimento tecnológico e institucional que as questões de saneamento padecem no Brasil, mostrando oportunidades de pesquisas nos temas. Ao citarem o reuso de águas, os autores mostram a necessidade de alternativas de tratamento de esgoto que cumpram os propósitos quanto à própria oportunidade de reuso, da proteção ambiental e da redução de riscos à saúde de usuários. O estudo apresenta formas mais inovadoras de corrigir problemas em recursos hídricos gerando oportunidades, por exemplo, no esgotamento sanitário.

A avaliação de desempenho de sistemas de tratamento de esgoto urbano e industrial foi realizada por Renou et al. (2008), a partir da Análise do Ciclo de Vida (LCA), com uso de cinco ferramentas: CML 2000, Eco Indicator 99, EDIP 96, EPS e Ecopoints 97. Os autores fizeram as análises com foco nos gases de efeito estufa, redução de recursos e acidificação, sendo que a eutrofização do corpo receptor também foi considerada. Foi utilizado um estudo de caso para os testes das cinco ferramentas, que se mostraram suficientes para indicar os resultados de forma similar. Porém os autores afirmaram ser necessário ampliar os estudos do desempenho em relação à saúde humana e ambiental, presença de patógenos, riscos de produtos químicos e microbiológicos, no sentido de criar limites nos parâmetros das emissões de ETES.

A forma de seleção de tecnologia adequada para sistema de tratamento de esgoto foi estudada por Kalbar, Karmakar e Asolekar (2012), com base em uma abordagem de tomada de decisão de múltiplos atributos baseada em cenários (MADM). Os autores indicam a dificuldade de selecionar a tecnologia mais apropriada dentre um conjunto de alternativas disponíveis para tratar águas residuárias em um determinado local, já que variáveis como custos de capital, de operação e manutenção, além do requisito de terreno fazem parte do processo decisório. Para satisfazer esses requisitos, em busca da sustentabilidade, foi empregada a MADM para avaliação de alternativas na seleção de sistemas de tratamento de esgoto, na Índia. Foram usados sete critérios com 12 indicadores na avaliação das alternativas, em seis cenários, com pesos diferentes. Segundo os autores, a indicação de pesos aos cenários foi o ponto que possibilitou a distinção das alternativas para a escolha da mais apropriada, com eficiência.

O critério ambiental foi introduzido na seleção de sistema de tratamento de esgoto, no estudo de Garrido-Baserba et al. (2014), que também utilizaram a técnica da Análise do Ciclo de Vida (LCA), somada ao Sistema de apoio à decisão baseado em conhecimento (DSS). Os autores analisaram 22 instalações em operação na Espanha com cinco diferentes tipologias, em duas categorias de impactos ambientais: potencial de eutrofização (PE) e potencial de aquecimento global (PAG). Os resultados da pesquisa mostraram que a integração dos critérios ambientais usando uma abordagem LCA somada ao DSS, em um conjunto limitado de ETES, foi adequada para melhorar o processo de tomada de decisão durante a seleção das alternativas.

Ren e Liang (2017), corroboram com os demais autores já citados, que a seleção do sistema de tratamento de esgoto mais sustentável, dentre os vários diferentes processos, é uma difícil tarefa. Para as análises, os autores usaram o método de análise de decisão de múltiplos atributos baseado em teoria intuitiva Fuzzy. Foram usados 10 critérios nas dimensões ambiental, econômica, sócio-política e tecnológica, com foco na medição da sustentabilidade da ETE. Essa metodologia permitiu o uso de opiniões intuitivas e a inserção de incertezas na decisão, na análise de quatro diferentes processos de tratamento de esgoto. O método empregado foi eficiente em determinar a sustentabilidade dos sistemas e ordená-los por esse critério.

Como descrito nos estudos aqui apresentados, a escolha do sistema de tratamento mais apropriado para determinado local requer a avaliação de diversas variáveis, sendo um processo complexo e de difícil solução.

3 METODOLOGIA

Trata-se de uma pesquisa aplicada, onde foi utilizado um modelo matemático Simulador ETE_x disponibilizado em uma plataforma *on-line* em página da Internet (<http://www.etex.eng.br/>), para auxiliar municípios na implantação de ETEs.

A execução do projeto foi realizada em cinco etapas principais, sendo elas: revisão bibliográfica, conhecimento do Simulador ETE_x, coleta de dados, testes do Simulador ETE_x na plataforma e no *software* original em Excel, e identificação dos ajustes necessários no simulador.

Na primeira etapa, de revisão bibliográfica, foi feita a atualização da bibliografia, que perdurou até o fechamento do projeto.

Na etapa seguinte que trata do conhecimento do simulador ETE_x, houve contato direto com a plataforma para entender o seu comportamento, bem como foram apresentadas as planilhas de Excel que deram início ao projeto, a fim de compreender o processamento das informações e as dúvidas que iam surgindo no decorrer de toda a pesquisa. Para conhecimento do modelo avaliado nesta pesquisa, foi realizada a leitura completa da tese de Oliveira (2004), bem como dos artigos, dissertação (LEONETI, 2009) e tese de livre-docência (OLIVEIRA, 2009) resultantes do desdobramento das pesquisas utilizando o *software* Simulador ETE_x.

Para que o simulador pudesse ser testado *on-line* foi disponibilizada a plataforma, que está em fase de implantação na versão beta. A linguagem escolhida para a modelagem foi a *Visual Basic Application* (da Microsoft), pois permite a utilização do mesmo código fonte dentro do ambiente de uma planilha eletrônica ou Internet.

O simulador tem acessos para indicação dos dados gerais, como estimativa da população, vazão do esgoto, concentração de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), dentre outros, bem como dos valores de mercado para os 21 itens de obras, equipamentos e outros insumos, incluindo energia e água. Como o sistema tem o Dólar americano como base nos cálculos, também foi disponibilizado um campo para se fazer a conversão da moeda local.

Por fim, após os cálculos feitos pelo simulador, são fornecidos os *outputs*, incluindo planilhas de comparação dos custos dos seis sistemas que fazem parte do simulador, sendo quatro iniciados por reator UASB mais opções aeróbias – lodos ativados, lagoa facultativa, filtro biológico ou lagoa aerada seguida de decantação; e dois iniciados por lagoa anaeróbia mais opções facultativa e aeróbia – lagoa facultativa ou lagoa aerada seguida de decantação, respectivamente.

A coleta de dados foi a terceira atividade iniciada no projeto, feita na base de informações do SNIS; em projetos disponibilizados pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica de Ribeirão Preto-SP (DAEE); em entrevistas com especialistas da COPASA de Minas Gerais em Alfenas-MG, da SABESP de Franca-SP e do DAEE de Ribeirão Preto. Foi também realizada uma visita técnica na ETE de Varginha-MG, operada pela COPASA, a fim de obter maior conhecimento técnico do funcionamento de ETEs. O intuito dessas entrevistas foi averiguar possíveis discrepâncias entre os resultados oferecidos pelo Simulador ETE_x e os dados reais utilizados para construir e manter uma estação de tratamento de esgoto, bem como averiguar como são definidos os sistemas de tratamento.

Inicialmente foram coletados os dados disponibilizados pelo SNIS (2017a), que se referem às informações prestadas pelos operadores de saneamento nos municípios do Brasil. Fazem parte desses dados planilhas em Excel divididas em cinco grupos: Prestadores de serviço local de Direito Privado e Administração Pública; Prestadores de serviço local de Direito Público; Prestadores de serviço local por Empresa Privada; Prestadores de serviço

Microrregionais; e Prestadores de serviço Regionais. Também foram baixados os arquivos com as planilhas com dados consolidados por Estado e por abrangência. Essas informações são as mais recentes, com ano base de 2015, e foram disponibilizadas em janeiro de 2017.

As entrevistas na COPASA de Alfenas-MG e na SABESP de Franca-SP foram feitas a partir de roteiro estruturado com 37 perguntas abertas, para coleta de informações relacionadas diretamente ao sistema de tratamento implantado nos dois municípios, como: capacidade da estação, volume coletado de esgoto, população atendida, carga orgânica, área do terreno, forma de planejamento, fonte de energia e consumo, vida útil, tomada de decisão da escolha do sistema, custos e parâmetros do projeto, dentre outras.

A entrevista no DAEE-Ribeirão Preto foi realizada com a diretoria, tendo participado três engenheiros diretamente ligados à gestão dos recursos hídricos e sistemas de tratamento de esgoto. Esta foi feita de forma não estruturada, com o intuito de obter informações sobre o processo decisório para definição do sistema de tratamento a ser implantado nos municípios que fazem parte da regional.

A visita técnica foi feita na ETE de Varginha-MG, onde fica a sede regional da COPASA, na Unidade Santana, uma das duas estações do município, a qual atende a maior parte da população, com uma vazão de 280 L/s.

A quarta etapa foi composta pelos testes no Simulador ETE_x, a partir de planilha com 56 municípios, cujos dados foram extraídos do banco de dados montado a partir do SNIS (2017), com a finalidade de testar, verificar inconsistências, erros e incompatibilidades. A definição dos 56 municípios se deu pelos seguintes filtros, a partir dessa ordem: municípios que não possuíam nenhum sistema de tratamento implantado; municípios que apresentavam os dados de consumo médio per capita de água; municípios com população igual ou inferior a 500 mil habitantes; municípios cujo consumo médio per capita de água estava ao menos dentro da recomendação mínima da Organização Mundial de Saúde, de 100 L. A primeira tentativa de criar um “robô” de preenchimento para agilizar a entrada de dados do banco de dados do SNIS de forma ágil, não foi possível, já que o simulador exige um novo login no sistema a cada entrada de dados. Dessa forma optou-se em fazer os testes com os dados dos 56 municípios inserindo-os um a um no Simulador ETE_x, e fazendo o registro dos *outputs* em uma planilha composta também pelos testes dos mesmos dados feitos nas planilhas originais do *software* em Excel.

Também foram inseridos no Simulador ETE_x os dados da estação de Alfenas-MG, para comparação dos *outputs* com os dados fornecidos pelos engenheiros.

Na quinta etapa foram compilados todos os problemas encontrados no simulador ao longo dos testes, a fim de elencar sugestões de melhoria.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados da presente pesquisa, formados pela análise da situação do esgotamento sanitário no Brasil e no mundo; aspectos sobre a escolha de sistemas de tratamento de esgoto; dados de estações de tratamento reais coletados e testes no Simulador ETE_x; e, por fim, a avaliação do Simulador ETE_x, com as propostas de melhoria.

4.1 Análise da situação do esgotamento sanitário no Brasil e no mundo

Fazendo uma análise contemporânea da situação do esgoto no Brasil e no mundo, é possível afirmar que ainda há uma carência significativa de coleta e tratamento. O termo esgotamento sanitário está associado à coleta, encaminhamento, tratamento e destinação final das águas servidas.

A partir da extração de dados da última atualização do Sistema Nacional de Informações em Saneamento (SNIS, 2017b) foi construída a Tabela 1, que resume a situação dos indicadores operacionais do esgoto nas regiões do Brasil.

Tabela 1 – Indicadores operacionais de esgotamento sanitário por regiões do Brasil

Região	INDICADORES OPERACIONAIS - ESGOTO							
	Índice de atendimento total de esgoto referido aos municípios atendidos com água	Índice de atendimento urbano de esgoto referido aos municípios atendidos com água	Índice de atendimento urbano de esgoto referido aos municípios atendidos com esgoto	Índice de coleta de esgoto	Índice de tratamento de esgoto	Índice de esgoto tratado referido à água consumida	Extensão da rede de esgoto por ligação	Índice de consumo de energia elétrica em sistemas de esgotamento sanitário
Unidade	%	%	%	%	%	%	m/lig.	kWh/m ³
N- Norte	8,66	11,16	18,11	18,41	83,85	16,42	10,53	0,17
NE-Nordeste	24,68	32,24	43,94	36,22	78,52	32,11	8,89	0,25
SE-Sudeste	77,23	81,87	83,84	67,41	67,82	47,39	9,03	0,23
S-Sul	41,02	47,45	61	42,97	94,33	41,43	14,78	0,24
CO-Centro-Oeste	49,59	54,74	64,23	54,09	92,55	50,22	11,09	0,27
TOTAL NACIONAL	50,26	58,03	67,86	55,17	74,02	42,67	9,79	0,24

Fonte: Adaptado de SNIS (2017b, grifo nosso).

É importante notar que apenas as regiões Centro-oeste e Sudeste possuem índices de esgoto tratado referido à água consumida superiores à média do Brasil e que o índice de coleta de esgoto é muito baixo em alguns estados, fazendo com que não haja, por consequência, o seu tratamento.

Analisando-se os continentes, a Europa possui a maior porcentagem de rede de esgoto em território, com no mínimo 70% de atendimento em todos os países. A Oceania apresenta discrepâncias nos níveis de rede de coleta, com 100% de implantação na Austrália e Palau, mas índices bem menores nos demais, bem como uma falta de dados de cerca de 14%. Na Ásia, não há países com menos de 30% de rede coletora, estando Cingapura, Chipre, Israel, República da Coreia, Uzbequistão, Kuwait, Japão e Arábia Saudita com a totalidade da rede no seu território (IBGE, 2016). A América tem pouco mais da metade de seus países com redes coletoras atendendo de 71 a 90%. Os únicos países do continente americano que já têm 100% da sua rede sanitária são os Estados Unidos e Canadá, entretanto outros como Venezuela, Granada, Chile, Barbados e Argentina estão quase alcançando esse valor (IBGE, 2016). Em visita ao Ministério de Obras Públicas do Chile em dezembro de 2016 os assessores afirmaram que 100% do esgoto urbano do Chile é tratado, mas o esgoto rural ainda tem grande carência de tratamento.

Porém, no continente africano a situação é bem mais crítica, com cerca de um quarto dos países apresentando apenas de 0 a 20% de rede coletora. Países como Gana, Congo, Libéria, Madagascar e Níger apresentam as menores porcentagens do mundo, sendo o Sudão do Sul o país com menor rede sanitária, sendo de apenas 7% (IBGE, 2016). A África possui grandes problemas de saúde pública, principalmente ligados à higiene e à qualidade da água, além da própria carência de acesso a ela. Alguns dos seus países enfrentam guerras civis e fome e a questão de saneamento básico passa a não ser prioridade governamental. Apenas 4% dos países possuem uma rede maior de 96%, são eles: Líbia e Seychelles.

Esses dados mostram a relevância de se disponibilizar ferramentas de apoio à decisão com foco na ampliação de sistemas de tratamento de esgoto.

4.2 Escolha de sistemas de tratamento de esgoto

A literatura apresentada no item 2.3 deste artigo, mostrou a dificuldade em se fazer a escolha do sistema de tratamento de esgoto mais indicado para determinado município, com base em diversas variáveis, buscando atender aspectos técnicos, econômicos, sociais, políticos e ambientais.

As entrevistas realizadas com especialistas mostraram que esse processo nem sempre possui uma forma estruturada de decisão. Os engenheiros do DAEE comentaram que há um direcionamento grande para projetos de sistemas de tratamento que já se tem *expertise*, como lagoas (Sistema Australiano) e lodos ativados. Às vezes aparece também um sistema composto de lagoa anaeróbia seguida por lagoa aerada, em locais com restrição de terreno, ou com alto valor do metro quadrado. Muitas vezes para se ter uma decisão com mais alternativas, se faz três projetos para orçar e escolher o que pode trazer mais vantagens para o município. Não se orça o valor de operação/manutenção para fazer parte das informações da decisão. Isso leva, muitas vezes, à implantação de estações que exigem um valor alto de energia elétrica para a manutenção da aeração de sistemas aeróbios, que muitas vezes é inviável para o município, fazendo com que sejam desligados os aeradores para redução do consumo de energia e do custo. É difícil encontrar sistemas UASB ou outros anaeróbios, provavelmente por falta de experiência no projeto e na operação. Também é mais difícil encontrar processos combinados de sistema anaeróbio seguido de aeróbio, que não em lagoas. Em geral o que se encontra é um sistema único, principalmente se for de Lodos Ativados. Ou seja, em geral, as estações implantadas não são a melhor solução para determinado município, mas a solução que pôde ser implantada por problemas de *expertise* no projeto e operação das estações.

Os engenheiros do DAEE sugeriram que a Plataforma ETE_x seja apresentada à Agência Nacional de Águas (ANA), no sentido de auxiliar os municípios e as bacias na tomada de decisão. Isso reduziria os custos com pré-projetos e orçamentos de três estações para, por fim, direcionar o projeto executivo para uma delas. Além disso, com os valores de implantação, operação e manutenção, poderia ser feito um alerta às prefeituras sobre os custos nem sempre previamente visíveis de operação e manutenção, que podem onerar sensivelmente o sistema.

A entrevista na SABESP-Franca-SP mostrou respostas semelhantes às do DAEE, de que a escolha do sistema geralmente é feita a partir de estudo de alternativas onde se avaliam prós e contras de cada projeto. Esta decisão envolve os profissionais que atuam diretamente no projeto, responsáveis pela operação e as gerências responsáveis. Os critérios basicamente são de custos ou redução de problemas, como a geração de odores de reatores anaeróbios.

Na COPASA, também houve a indicação de que uma área especializada, composta por vários engenheiros, faz vários projetos e decide pelo mais viável. A decisão é feita apenas pelo pessoal da engenharia que trabalha nesse processo.

As informações das entrevistas mostraram que o processo de escolha da ETE muitas vezes exige grandes esforços e custos para projetar e orçar algumas alternativas para ser possível a decisão. Nas entrevistas não foram citados muitos dos critérios elencados na literatura, como os indicados por Zuffo et al. (2002) – técnicos, econômicos, ambientais e sociais; por Renou et al. (2008) – gases de efeito estufa, redução de recursos e acidificação; por Kalbar, Karmakar e Asolekar (2012) – custos de capital, de operação e manutenção e requisito de terreno; por Garrido-Baserba et al. (2014) – potencial de eutrofização e potencial de aquecimento global; ou por Ren e Liang (2017) - 10 critérios nas dimensões ambiental, econômica, sócio-política e tecnológica.

4.3 Dados de estações de tratamento e testes no Simulador ETE_x

A partir dos dados do SNIS (2017a) foi criado um grande banco de dados contendo 135 informações distintas de 3.382 municípios do Brasil, do qual se criou o conjunto de dados dos

56 municípios que fizeram parte dos testes no simulador e no software original no Excel, como descrito na metodologia desta pesquisa.

As informações iniciais disponibilizadas pelo SNIS foram completadas com as demais necessárias para utilização do simulador ETE_x, sendo essas: temperatura mínima do mês mais frio, DBO média do afluente (mg/L), estimativa da vazão máxima de esgoto para os próximos 20 anos (m³/dia), estimativa da vazão média de esgotos para os próximos 20 anos (m³/dia), consumo médio de água per capita atual (m³/dia), e população estimada para os próximos 20 anos, pelo fator de conversão populacional composto de Oliveira (2009).

Os dados desses 56 municípios foram testados no simulador ETE_x e na planilha original no Excel, com uma assertividade de 100% na indicação dos sistemas de menor custo total (implantação + operação e manutenção) e com uma variação média dos valores do custo total apontado pelo simulador ETE_x em relação à planilha no Excel da ordem de 0,030% e desvio padrão de 0,011, sendo o custo do simulador sempre minimamente superior ao da planilha no Excel. Tais divergências devem ser por possíveis arredondamentos feitos pelo simulador. A Tabela 2 apresenta o resumo dos testes no simulador e na planilha no Excel.

Tabela 2 – Resumo dos testes no Simulador ETE_x e planilha original Excel

Sistemas	Faixa populacional atendida (mil hab.)	% de indicações	% Média de Eficiência	% Média de diferença de custo entre ETE _x e Excel	Desvio padrão
Sistema 1: UASB + LA	-	0	-	-	-
Sistema 2: UASB + LF	De 28,3 a 51	13	95	0,029	0,0076
Sistema 3: UASB + FB	De 52,2 a 339,6	25	94	0,038	0,0080
Sistema 4: UASB + LAE + LD	De 26,5 a 73,2	20	91	0,037	0,0029
Sistema 5: LAN + LF	De 1,8 a 12,9	27	90	0,022	0,0088
Sistema 6: LAN + LAE + LD	De 3,5 a 26,5	16	91	0,024	0,0141
Geral	De 1,8 a 339,6	100	92	0,030	0,0110

Legenda: UASB: Reator Anaeróbio de Manta de Lodo; LA: Lodos Ativados; LF: Lagoa Facultativa; LAE: Lagoa Aerada; LD: Lagoa de Decantação; LAN: Lagoa Anaeróbia.

Fonte: dos autores.

Como pode ser visto, não houve indicação para o Sistema 1 – Lodos Ativados dado o alto custo de operação e manutenção, embora seja o indicado por 16 projetos da planilha de Leoneti (2009). Uma análise desses 16 projetos no Simulador ETE_x não indicou o sistema de Lodos Ativados em nenhum município como a opção de menor custo total, sendo que em apenas três casos esse sistema ficou em segundo lugar, já que foram municípios entre 258 a 366 mil habitantes. Esse fato corrobora com as informações prestadas na entrevista no DAEE e com a literatura, principalmente com base nos parâmetros usados por Kalbar, Karmakar e Asolekar (2012), ou seja, custos de capital, de operação e manutenção e requisito de terreno.

O fato da baixa indicação do Sistema 5 – Lagoa Anaeróbia + Facultativa se deve ao alto custo da impermeabilização quando se tratar de sistemas para populações acima de 15 mil habitantes. A necessidade de impermeabilização havia sido comentada pelos engenheiros do DAEE durante a entrevista. Foi descrita a necessidade de impermeabilização de lagoas com manta, uma vez que somente o solo não seria suficiente para estancar a percolação do líquido, segundo a fiscalização. Eles disseram que mesmo em solos argilosos suficientemente impermeáveis, tem havido a cobrança de colocação de manta de impermeabilização. Isso eleva significativamente o custo das lagoas, que a princípio são muito indicadas para municípios de até 35 mil habitantes, tanto pela eficiência, quanto pelo custo e facilidade de manutenção. Caso o solo tenha uma baixa percolação, segundo os engenheiros, não haveria necessidade do uso da manta.

As análises dos dados fornecidos pela COPASA durante a entrevista, revelaram que a estação de Alfenas foi projetada para uma população estimada de 111.000 habitantes em 2030, enquanto que pelos cálculos a partir do fator de conversão populacional composto de Oliveira (2009), essa população seria de cerca de 72.500 habitantes. Essa estimativa acima da curva de crescimento médio gerou cálculos de vazões também superestimadas, levando a um sistema de tratamento de capacidade muito superior ao necessário. Pelas informações colhidas, a estação hoje possui capacidade para tratar 260 L/s, mas recebe e trata apenas 80 L/s. O sistema implantado foi o de Lodos Ativados, embora os estudos da época indicassem um reator anaeróbio seguido de filtro biológico, segundo o entrevistado; os testes no Simulador ETE_x também indicaram o Sistema 3 – UASB + Filtro Biológico, como o de menor custo total, ficando o Sistema 1 – UASB + Lodos Ativados em quinto lugar dentre as seis opções, como pode ser visto no *output* do Simulador ETE_x, apresentado na figura 1.

Figura 1 – *Output* de teste do sistema de tratamento para Alfenas em 2030 pelo ETE_x

ETEx

**Software de apoio à tomada de decisão para
escolha de Estação de Tratamento de Esgoto (ETEx)**

Projeto - [\(alterar dados deste projeto, visualizar outros projetos, iniciar novo projeto\)](#)

Na tabela abaixo estão apresentados o resumo dos cálculos dos custos de implantação, operação e manutenção, em dólares, e as respectivas colocações alcançadas por cada sistema, conforme o critério de menor custo calculado por esta versão do modelo ETE_x. As estimativas para a eficiência de tratamento dos sistemas foram calculadas conforme Von Sperling (2006). A descrição detalhada dos sistemas encontra-se nas suas respectivas abas.

Resumo dos cálculos Sistema 1 Sistema 2 Sistema 3 Sistema 4 Sistema 5 Sistema 6

	UASB & Lodos ativados (Sistema 1)	UASB & Lagoa facultativa (Sistema 2)	UASB & Filtro biológico (Sistema 3)	UASB & Lagoa aerada e de decantação (Sistema 4)	Lagoa anaeróbia & Lagoa facultativa (Sistema 5)	Lagoa anaeróbia & Lagoa aerada e de decantação (Sistema 6)
Resumo dos custos	US\$	US\$	US\$	US\$	US\$	US\$
Estimativa de custo de implantação	1.974.369,84	2.686.812,11	2.148.648,40	2.184.704,49	4.605.852,56	2.597.088,20
Estimativa de custo de operação e manutenção	2.146.196,47	1.396.751,03	1.695.446,49	1.712.910,69	773.638,25	1.458.249,73
Custo total do sistema	US\$	US\$	US\$	US\$	US\$	US\$
Custo total do sistema	4.120.566,30	4.083.563,14	3.844.094,90	3.897.615,18	5.379.490,81	4.055.337,92

Fonte: dos autores.

Na entrevista na SABESP de Franca-SP não foi possível coletar dados para testes no Simulador ETE_x tendo em vista que o município possui nove sistemas de tratamento. O município de Franca foi escolhido por estar nas melhores classificações em saneamento do país, sendo que em 2017 foi considerada a primeira cidade do país em saneamento básico pelo *ranking* da Trata Brasil, segundo o Portal do Governo de São Paulo.

Os resultados dos testes com 56 municípios realizados no Simulador ETE_x em comparação aos resultados alcançados pela planilha original do *software* em Excel foram muito próximos. Em complementação, foram feitos os testes com dados de 16 estações construídas no sistema de Lodos Ativados para comparar resultados, além dos dados de Alfenas. Em todos os casos o simulador foi de fácil uso e compreensão dos resultados, apresentados em uma planilha geral com os custos dos itens dos sistemas e totais, bem como com relatórios individuais com itens e custos de cada um dos seis sistemas.

4.4 Avaliação do Simulador ETE_x

De acordo com os testes realizados, o Simulador ETE_x apresentou robustez e coerência nas indicações dos tipos de sistemas e cálculo dos mesmos, podendo ser uma ferramenta de auxílio no processo de escolha dos sistemas de tratamento de esgoto municipais.

Algumas observações, ajustes e recomendações podem ser feitos a fim de promover a melhoria contínua do simulador, como apresentado a seguir.

1- O sistema mais eficiente apresentado em todos testes é sempre o Sistema 1 - UASB + Lodos Ativados com 97% de eficiência. Essa eficiência sempre aumenta para 98% quando a

temperatura dada é menor que 18°. No entanto, em todos os testes feitos, esse não é o sistema de menor custo total.

2- A eficiência geralmente é a mesma para cada sistema, independentemente do projeto realizado. Algumas diferenças são notadas quando relacionadas com a temperatura. Porém isso já seria esperado.

3- Poderia ser ampliado o tempo de conexão ao sistema, pois períodos curtos sem ação no site, já fazem a desconexão, obrigando o usuário a fazer novo login.

4- Seria conveniente acrescentar uma aba de procura em projetos realizados, para facilitar a busca.

5- No sistema 6 está escrito “Estimativa do custo total de implantação” ao invés de “Estimativa do custo total de operação e manutenção”, no segundo conjunto de custos.

6- Poderia ser acrescentado o custo total do somatório de implantação + operação e manutenção no final dos relatórios dos seis sistemas.

7- Levando em conta as diferenças que os valores de terreno, escavação e limpeza, de concreto armado e de todas as outras variáveis envolvidas no desenvolvimento do projeto podem assumir, dependendo do município ou região, seria importante que os usuários tivessem acesso para alterar o valor, de modo que se encaixe melhor a realidade do ambiente no qual o projeto de estação de tratamento de esgoto será executado.

5 CONCLUSÕES

A presente pesquisa trouxe informações sobre a situação do esgotamento sanitário no Brasil e no mundo, mostrando mais especificamente a situação do tratamento de esgoto. Essas informações fortaleceram a necessidade de se ter ferramentas que possam trazer subsídios para a escolha dos sistemas, dada a carência de esgoto tratado em termos mundiais.

As entrevistas e a literatura mostraram que o processo de escolha de sistemas de tratamento de esgoto é complexo e muitas vezes feito sem as devidas informações e avaliações necessárias, levando à definição de processos e dimensionamento inadequados.

Os bancos de dados criados ao longo da pesquisa mostraram que o Brasil ainda necessita de muitos projetos de ETEs para a universalização do tratamento, e que os projetos já construídos nem sempre são os mais adequados.

Os testes feitos no Simulador ETE_x e na planilha original no Excel mostraram que o simulador tem capacidade de fazer o pré-cálculo e orçamento de seis sistemas de tratamento, iniciados por processo biológico anaeróbio seguido de aeróbio, indicando o sistema de menor custo de implantação ou de operação e manutenção, ou ambos. Dessa forma, pode ser uma ferramenta útil na tomada de decisão para escolha de sistemas de tratamento de esgoto municipais.

Como limitações, essa pesquisa apresentou um número ainda pequeno de testes com dados reais de estações de tratamento, tendo em vista a dificuldade de acesso a essas informações.

Para pesquisas futuras, deve-se fazer a máxima divulgação do Simulador ETE_x, inclusive internacionalmente, após sua tradução para o inglês, a fim de criar um grande banco de dados para novos estudos e melhoria contínua do simulador.

Agradecimentos: à FAPESP, pela Bolsa de Iniciação Científica, ao CNPq, pela Bolsa Produtividade em Pesquisa, ao DAEE, COPASA e SABESP pelo atendimento e disponibilidade de informações.

REFERÊNCIAS

AGENCE FRANCE PRESS. **India River Pollution: 80 Percent of Indian Sewage Flows Untreated Into Country's Rivers.** May. 2013. Disponível em:

<http://www.huffingtonpost.com/2013/03/05/india-river-pollution-sewage_n_2810213.html>. Acesso em: 05 mar. 2017.

BRASIL. Lei Nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. **Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico**. 2007. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm>. Acesso em: 14 jun. 2016.

CAMPOS, J. R. **Alternativas para tratamento de esgotos** – Pré-tratamento de águas para abastecimento. Americana: Consórcio Intermunicipal das Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari, 1994. 112 p.

CAMPOS, J. R. et al. **Conceitos gerais sobre técnicas de tratamento de águas de abastecimento, esgotos sanitários e desinfecção**. São Carlos: EESC (apostila), jun. 1997.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: Depto de Engenharia Hidráulica e Sanitária, UFMG, 1997. 245 p.

CHERNICHARO, C. A. L. (Coord.). **Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios** - Coletânea de Artigos Técnicos. Volume I. Belo Horizonte: PROSAB, 2000.

FERREIRA, P. S. F. et al. Avaliação preliminar dos efeitos da ineficiência dos serviços de saneamento na saúde pública brasileira. **Revista Internacional de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 06, n. 02, p. 214 - 229, jul.-dez. 2016.

GARRIDO-BASERBA, M. et al. Including the environmental criteria when selecting a wastewater treatment plant. **Environmental Modelling & Software**, v. 56, p. 74-82, 2014.

HAMED, M. M.; KHALAFALLAH, M. G.; HASSANIEN, E. A. Prediction of wastewater treatment plant performance using artificial neural networks. **Environmental Modelling & Software**, v. 19, p. 919-928, 2004.

IMPELLER. **Desenvolvimento da maior estação subterrânea de reciclagem de águas residuais da China**. Jul. 2016. Disponível em: <<http://impeller.xyleminc.com/pt-br/desenvolvimento-da-maior-estacao-subterranea-de-reciclagem-de-aguas-residuais-da-china/>>. Acesso em: 20 fev. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE Cidades**. Minas Gerais – Alfenas. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=310160>>. Acesso em: 15 set. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE Países**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/paisesat/main_frameset.php>. Acesso em: 12 set. 2016.

KALBAR, P. P.; KARMAKAR, S.; ASOLEKAR, S. R. Selection of an appropriate wastewater treatment technology: A scenario-based multiple-attribute decision-making approach. **Journal of Environmental Management**, v. 113, p. 158-169, 2012.

KARPOUZOGLOU, T.; ZIMMER, A. Ways of knowing the wastewaterscape: Urban political ecology and the politics of wastewater in Delhi, India. **Habitat International**, v. 54, n. 2, p.150-160, May 2016.

KERSTENS, S. M. et al. A new approach to nationwide sanitation planning for developing countries: Case study of Indonesia. **Science of The Total Environment**, v. 550, p. 676-689, 15 Apr. 2016.

LEONETI, A. B. **Avaliação de modelo de tomada de decisão para escolha de sistema de tratamento de esgoto sanitário**. 2009. 154 f. Dissertação (Mestrado em Administração de Organizações)-Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto-USP, Ribeirão Preto, 2009.

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

LIDDLE, J. **China's wastewater treatment industry: opportunities for foreign investors**. Jan. 2017. Disponível em: <<http://www.china-briefing.com/news/2017/01/05/chinas-wastewater-treatment-industry.html>>. Acesso em: 20 fev. 2017.

NASCIMENTO, N. O.; HELLER, L. Ciência, tecnologia e inovação na interface entre as áreas de recursos hídricos e saneamento. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 36-48, jan./mar. 2005.

OLIVEIRA, S. V. W. B. **Modelo para tomada de decisão na escolha de sistema de tratamento de esgoto sanitário**. 2004. 293 f. Tese (Doutorado em Administração)-Faculdade de Economia, Administração e , Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

OLIVEIRA, S. V. W. B. **Esgoto Sanitário no Brasil: avaliação de alternativas de tratamento e valores de investimento para auxílio à tomada de decisão**. 2009. 1170 f. Tese (Livre-docência em Administração Geral)-Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, USP, Ribeirão Preto, 2009.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Nações Unidas no Brasil, **OMS: Para cada dólar investido em água e saneamento, economiza-se 4,3 dólares em saúde global**. 20 nov. 2014. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/oms-para-cada-dolar-investido-em-agua-e-saneamento-economiza-se-43-dolares-em-saude-global/>>. Acesso em: 02 out. 2017.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO-PNUD. **Transformando Nosso Mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. 2015. Disponível em: <<http://www.br.undp.org/content/dam/brazil/docs/agenda2030/undp-br-Agenda2030-completo-pt-br-2016.pdf>>. Acesso em: 03 out. 2017.

REN, J.; LIANG, H. Multi-criteria group decision-making based sustainability measurement of wastewater treatment processes. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 65, p. 91-99, 2017.

RENOU, S. et al. Influence of impact assessment methods in wastewater treatment LCA. **Journal of Cleaner Production**, n. 16, p. 1098-1105, 2008.

SARITAS, O.; PROSKURYAKOVA, L.; SIVAEV, S. Russia's water resources 2030: plausible scenarios. Basic Research Program. Working papers. Series: **Science, Technology**

and Innovation. Jul. 2015. Disponível em:

<https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2634935##>. Acesso em: 11 nov. 2016.

SILVA, E. M. S. et al. Sustentabilidade e Responsabilidade Socioambiental: o uso indiscriminado de água. **Revista Maiêutica**, Indaial, v. 4, n. 1, p. 57-66, 2016.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO-SNIS. **Diagnóstico de Serviço de Água e Esgotos – 2015**. Brasília: SNSA/MCIDADES, fevereiro, 2017a. Disponível em: <http://wp.ufpel.edu.br/hugoguedes/files/2013/10/Diagnostico_AE2015.pdf>. Acesso em: 12 set. 2017a.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO-SNIS. **Coleta de água e esgoto**. 2017b. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/coleta-de-agua-e-esgotos>>. Acesso em: 16 fev. 2017b.

SOUZA, A. C. A.; COSTA, N. R. Política de saneamento básico no Brasil: discussão de uma trajetória. **História, Ciências, Saúde - Manguinhos**, v. 23, n. 3, p. 615-634, jul.-set. 2016.

TORTAJADA, C. Policy dimensions of development and financing of water infrastructure: The cases of China and India. **Environmental Science & Policy**, v. 64, p. 177-187, Oct. 2016.

TUNDISI, J. C. Governança da água. **Revista da Universidade Federal de Minas Gerais**, Belo Horizonte, v. 20, n. 2, p. 222-235, jul./dez. 2013.

VON SPERLING, M. Comparison among the most frequently used systems for wastewater treatment in developing countries. **Water Science and Technology**, London, v. 33, n. 3, p. 59-72, 1996.

WANG, K. **Integrated Anaerobic and Aerobic Treatment of Sewage**. PhD Thesis, Wageningen Agricultural University, Wageningen, The Netherlands. 1994. Disponível em: <<http://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/fulltext/206286>>. Acesso em: 07 ago. 2017.

WATER & WASTEWATER INTERNATIONAL-WWI. **Russian water and wastewater market ripe for investment**. Disponível em: <<http://www.waterworld.com/articles/wwi/print/volume-26/issue-4/regulars/creative-finance/russian-water-and-wastewater-market.html>>. Acesso em: 21 fev. 2017.

WORKMAN, J. G. **China's new strategy to transform its wastewater market**. Oct. 2015. Disponível em: <<http://www.thesourcemagazine.org/chinas-new-strategy-to-transform-its-wastewater-market/>>. Acesso em: 20 fev. 2017.

ZUFFO, A. C. et al. Aplicação de métodos multicriteriais ao planejamento de recursos hídricos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 1, p. 81-102, jan./mar. 2002.