

II-430 - APLICAÇÃO WEB PARA PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO

Rafael Pereira Maciel⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual Vale do Acaraú. Mestrando em Engenharia Oceânica pela Universidade Federal do Rio Grande.

Luís Henrique Magalhães Costa⁽²⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Ceará. Mestre em Recursos Hídricos pela Universidade Federal do Ceará. Doutor em Recursos Hídricos pela Universidade Federal do Ceará. Professor efetivo na Universidade Estadual Vale do Acaraú.

Nagila Veiga Adriaio Monteiro

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual Vale do Acaraú. Mestrando em Modelagem Computacional pela Universidade Federal do Rio Grande.

Liércio André Isoldi⁽³⁾

Engenheiro Civil e Mecânico pela Universidade Federal do Rio Grande. Mestre em Engenharia Oceânica pela Universidade Federal do Rio Grande. Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Professor permanente na Universidade Federal do Rio Grande.

Endereço⁽¹⁾: Avenida São José, 650 - Centro - Groaíras - CE - CEP: 62190-000 - Brasil - Tel: (88) 99972-3372 - e-mail: rafaelmaciel95@hotmail.com

RESUMO

O lançamento de esgotos não tratados em corpos hídricos traz sérias consequências à saúde pública e ao meio ambiente. Embora a preocupação com saneamento básico no Brasil tenha crescido bastante nos últimos anos, a atual situação está longe de ser a ideal, pois parte da população ainda não recebe esgotamento sanitário, nem todas as estações de tratamento atendem de fato às condições mínimas exigidas para o lançamento de esgotos, além da carência de mão de obra técnica qualificada para elaboração de projetos de saneamento. Neste contexto, fica claro a necessidade do acesso a informações sobre dimensionamento e elaboração de projetos, visando proporcionar à população os princípios de universalização e integralidade dos serviços de saneamento básico.

Na intenção de apresentar métodos claros de dimensionamento e auxiliar no processo de tomada de decisões, o presente trabalho objetiva a criação de uma aplicação web que realize os cálculos de pré-dimensionamento de Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs).

A aplicação foi desenvolvida com o uso das linguagens HTML e JavaScript, do mecanismo CSS, e realiza o dimensionamento de tratamento preliminar, o que inclui calhas Parshall, grades de barras e desarenadores; lagoas facultativas; lagoas aeradas facultativas; lagoas aeradas de mistura completa seguidas de lagoas de decantação; lagoas anaeróbias seguida de lagoas facultativas; lagoas anaeróbias seguida de lagoas facultativas e lagoas de maturação; reatores UASB seguido de filtros biológicos percoladores; e tratamento individual (fossas sépticas e sumidouros). Bem como realiza análise da autodepuração de corpos hídricos com lançamento pontual único de efluentes. A aplicação pode ser encontrada no endereço <hidrouva.com.br>.

PALAVRAS-CHAVE: Aplicação Web, Pré-dimensionamento, ETEs.

INTRODUÇÃO

A água doce, amplamente utilizada para consumo humano, é um bem natural renovável, apresentando variações de volume com as mudanças climáticas, pois está armazenada em reservatórios superficiais e subterrâneos, e em áreas glaciais fica acumulada em grandes geleiras. Diante da necessidade humana do consumo de água, faz-se necessária a correta manutenção da pequena parcela propícia ao consumo humano (VON SPERLING, 2005; BRAGA et. al., 2005).

Barros (2013) afirma que o lançamento de esgoto não tratado é um dos principais fatores que contribuem para a poluição das águas. O tratamento de esgotos, quando existente, em grande parte dos casos é insuficiente para a remoção satisfatória de poluentes, principalmente para o atendimento aos padrões legais. Segundo os dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB), que avalia os serviços de abastecimento de água,

esgotamento sanitário, manejo de águas pluviais e manejo de resíduos sólidos prestados à população por entidades que atuam no setor, entre os anos de 1989 e 2000, os municípios com mais de 300.000 habitantes possuíam quase três vezes mais domicílios ligados à rede de esgoto, em relação aos com até 20.000 habitantes (IBGE, 2002).

O Plano Nacional de Saneamento (Planasa) ao criar Companhias Estaduais, não obteve tanto efeito na esfera administrativa das entidades prestadoras de serviço de esgotamento sanitário. Pois, o serviço prestado aos municípios permaneceu primordialmente sob a responsabilidade dos governos locais, de modo que os municípios de menor porte, em sua grande maioria, eram servidos por entidades municipais, enquanto que geralmente nos municípios de maior porte, predominavam as entidades estaduais (SANTOS, et. al., 2018). A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2008, realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), destaca que a coleta de esgotos estava presente em apenas 55,2% dos municípios brasileiros, e do percentual que é coletado 68,8% recebe tratamento.

De acordo com o Diagnóstico de Serviços de Água e Esgoto – 2016, produzido pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), observa-se que do total de esgotos gerados em todo o Brasil, incluindo esgotos coletados e não coletados, apenas 44,9% passa por algum tipo de tratamento, e deste percentual, apenas 74,9% são tratados (BRASIL, 2018). Embora os números mostrados pelo SNIS tenham melhorado nos últimos anos, observa-se que ainda não é possível proporcionar à população, além dos princípios de universalização e integralidade dos serviços de saneamento básicos, abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos realizados de formas adequadas à saúde pública e à proteção do meio ambiente, como previsto na lei 11.445/2007, também conhecida como Lei do Saneamento.

De acordo com o Atlas do saneamento (IBGE, 2011), 30,5% dos municípios brasileiros lançam esgoto não tratado em corpos d'água e utilizam estes corpos receptores para vários usos a jusante, como o abastecimento de água, a recreação, a irrigação e a aquicultura. A maioria dos problemas sanitários que afetam a população mundial estão intrinsecamente relacionados com o meio ambiente. Um exemplo é a diarreia que, com mais de quatro bilhões de casos por ano, é uma das doenças que mais aflige a humanidade (GUIMARÃES et al., 2007).

Problemas relacionados à saúde, ao saneamento e ao meio ambiente envolvem grande parte da população mundial. No Brasil, o déficit no acesso aos serviços básicos atinge principalmente as populações mais carentes nas zonas periféricas das cidades e zonas rurais. A inexistência ou ineficácia de serviços de saneamento favorece o agravamento da saúde e da qualidade de vida da população (SANTOS, et. al., 2018). O SNIS apurou informações sobre o esgotamento sanitário em 4.084 municípios, com população urbana de 162,1 milhões de habitantes, uma representatividade de 73,3% em relação ao total de municípios e de 93,1% em relação à população urbana do Brasil. O contingente de população urbana atendida por redes de esgoto alcança 102,1 milhões de habitantes (BRASIL, 2018). Para que ocorresse a universalização dos serviços de água e esgoto até o ano de 2024, seriam necessários investimentos anuais da ordem de R\$ 11 bilhões, que correspondem a 0,6% do PIB. No entanto, nos anos anteriores os investimentos se situaram próximos aos R\$ 3 bilhões (AESBE, 2006).

Neste viés, o Instituto Trata Brasil (ITB, 2018) afirma que a universalização do saneamento básico traria ao país benefícios econômicos e sociais de mais de R\$ 1,1 trilhão em 20 anos. Isso quer dizer que os ganhos com a expansão dos serviços de água e esgoto no Brasil são maiores que os custos para investir neste setor.

FERRAMENTAS RELACIONADAS AO SANEAMENTO EXISTENTES

Com o avanço no desenvolvimento de tecnologias, cada vez mais profissionais vem se utilizando de ferramentas computacionais na intenção de auxiliar no desempenho de seus trabalhos, obtendo resultados por vezes mais satisfatórios. Neste viés, Rocha et al. (1999); Barros (2013); Mikowski e Takeuchi (2013); e Andrade (2016) destacam-se no tocante à inovação no desenvolvimento destas ferramentas, abrangendo diversas facetas do tratamento de esgotos.

Rocha et al. (1999) vieram como pioneiros no que concerne à criação de ferramentas computacionais voltadas para tecnologias de tratamento de efluentes no Brasil. Este trabalho teve como produto um software para pré-dimensionamento de reatores UASB (do inglês: *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), também conhecido como

Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente, com formato retangular. Por se tratar de um trabalho anterior à NBR 12209:2011 (ABNT, 2011), que trata de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários, este trabalho teve como objetivo não somente a criação do referido software, como também a compilação de dados e recomendações a respeito de reatores UASB, assim como a elaboração de um roteiro de dimensionamento para esta tecnologia.

Apesar de trazerem propostas mais atualizadas em seus trabalhos Barros (2013) e Mikowski e Takeuchi (2013) ainda se baseiam na NBR 12209:1992 (ABNT, 1992), versão esta que foi cancelada. Barros (2013) desenvolveu um sistema computacional auxiliar a projetos de estações de tratamento de esgotos compactas, o qual denominou SAPETEC. Nesta ferramenta, além do dimensionamento de tecnologias de tratamento de efluentes voltadas para cidades de pequeno porte, fornece também informações a respeito da área necessária para construção e custos necessários. Similarmente, Mikowski e Takeuchi (2013) propuseram o desenvolvimento de um sistema informatizado voltado para o dimensionamento de unidades de tratamento de esgotos.

Andrade (2016) traz a proposta de um sistema computacional, voltado para o pré-dimensionamento de estações de tratamento de esgotos domésticos, com foco em cidades de pequeno e médio porte. Porém, diferentemente dos autores anteriormente citados, fundamenta-se na versão mais recente da norma referente a projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários, NBR 12209:2011 (ABNT, 2011). Este sistema se mostra bastante funcional, tendo sua estrutura organizacional dividida em fluxogramas de tratamento e dimensionando cada unidade contida no fluxograma.

Desta forma, tendo em vista a grande acessibilidade de conteúdo via web e a difusão do uso de smartphones, optou-se pela criação de uma aplicação web para a abordagem deste trabalho, visto que esta é uma ferramenta que pode ser facilmente acessada, sem a necessidade de instalação de um software.

OBJETIVOS

O objetivo do presente trabalho consistiu em desenvolver uma aplicação web que possa ser usada no pré-dimensionamento de etapas do tratamento do esgoto doméstico e auxiliar na tomada de decisões relacionadas ao planejamento de Estações de Tratamento de Esgoto. Além disso, buscou-se analisar normas técnicas vigentes, a literatura existente e o cenário atual do país com relação às técnicas de tratamento mais utilizadas, podendo, desta forma, definir quais tecnologias de tratamento foram abordadas no site. Adicionalmente, buscou-se desenvolver roteiros de dimensionamento para as técnicas utilizadas e realizar estudos de caso, na intenção de se verificar a confiabilidade de desempenho da aplicação. O produto final deste trabalho poderá ainda ser utilizado para fins acadêmicos, nas disciplinas de saneamento básico que abordem técnicas de tratamento de esgotos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do presente trabalho, este foi dividido, em três etapas, onde na primeira decidiu-se o conteúdo da aplicação web de pré-dimensionamento; na segunda esta foi desenvolvida computacionalmente; e na terceira foram realizados os estudos de caso para validação da aplicação.

PRIMEIRA ETAPA: ESCOLHA DOS MÉTODOS DE TRATAMENTO ADOTADOS

Inicialmente, buscou-se fazer uma extensa revisão bibliográfica a fim de se encontrar trabalhos existentes que abordassem o uso de ferramentas computacionais voltadas para o dimensionamento e planejamento de Estações de Tratamento de Esgoto, como, por exemplo, aquelas utilizadas por Barros (2013), Mikowski (2013) e Andrade (2016). Buscou-se, também, em normas técnicas e na bibliografia existente unidades, fluxogramas e tecnologias de tratamento que são utilizados no sistema brasileiro de tratamento de efluentes, e indicações para o dimensionamento destes. Uma vez que Von Sperling (2005), Jordão e Pessoa (2014), Von Sperling (2014) e Von Sperling (2017) abordam as tecnologias contempladas na aplicação desenvolvida ao mesmo tempo em que contribuem com experiências profissionais práticas, adotou-se neste trabalho, essencialmente, as indicações propostas por estes autores.



Foram também adotadas as recomendações existentes nas Normas Brasileiras Regulamentadoras NBR 13969:1997 (ABNT, 1997) e NBR 12209:2011 (ABNT, 2011), que tratam, respectivamente, a respeito da elaboração de projetos de tanques sépticos e projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários. A escolha das tecnologias abordadas também foi fundamentada em alguns fatores, como: custo energético; custos de implementação e manutenção; abrangência do uso; e eficiência de remoção de matéria orgânica e organismos patogênicos. Os valores de custo energético e eficiência de remoção de matéria orgânica e organismos patogênicos, como apresentados por Von Sperling (2003) e Von Sperling (2017), podem ser visualizados nas tabelas 1 e 2.

Tabela 1: Eficiências de remoção de matéria orgânica e organismos patogênicos dos sistemas de tratamento adotados na aplicação web.

Sistema de tratamento	Eficiência de remoção (%)						
	DBO	DQO	SS	Amônia	Nitrogênio	Fósforo	Coliformes
Lagoa facultativa	75 – 85	65 – 80	70 – 80	< 50	< 60	< 35	90 – 99
Lagoa aerada facultativa	75 – 85	65 – 80	70 – 80	< 30	< 30	< 35	90 – 99
Lagoa aerada de mistura completa seguida de lagoa de decantação	75 – 85	65 – 80	80 – 87	< 30	< 30	< 35	90 – 99
Lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa	75 – 85	65 – 80	70 – 80	< 50	< 60	< 35	90 – 99
Lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa e lagoa de maturação	80 – 85	70 – 83	70 – 80	40 – 80	40 – 70	> 40	99,9 – 99,999
Reator UASB seguido de Filtro biológico percolador	80 – 93	73 – 88	87 – 93	< 50	< 60	< 35	90 – 99
Tratamento individual	90 – 98	85 – 95	> 93	> 65	> 65	> 50	99,99 – 99,999

Fonte: VON SPERLING (2005); VON SPERLING (2017).

Tabela 2: Custo energético dos sistemas de tratamento adotados na aplicação web.

Sistema de tratamento	Custos	
	Implantação (R\$/habitante)	Operação (R\$/habitante.ano)
Lagoa facultativa	40 – 80	2,0 – 4,0
Lagoa aerada facultativa	50 – 90	5,0 – 9,0
Lagoa aerada de mistura completa seguida de lagoa de decantação	50 – 90	5,0 – 9,0
Lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa	30 – 75	2,0 – 4,0
Lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa e lagoa de maturação	50 – 100	2,5 – 5,0
Reator UASB seguido de Filtro biológico percolador	60 – 90	5,0 – 7,5
Tratamento individual	60 – 100	3,0 – 5,0

Fonte: VON SPERLING (2005); VON SPERLING (2017)

Seguidamente, foram selecionadas as tecnologias de tratamento abordadas na aplicação, procurando-se adotar tecnologias amplamente empregadas em estações de tratamento de esgoto de cidades de pequeno e médio porte e que apresentem baixos custos de implantação e manutenção. São elas: lagoa facultativa; lagoa aerada facultativa; lagoa aerada de mistura completa seguida de lagoa de decantação; lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa; lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa e lagoa de maturação; reator UASB seguido de filtro biológico percolador; e tratamento individual (fossa séptica e sumidouro).

Complementarmente a estas tecnologias, foram também desenvolvidas páginas para tratamento preliminar, fase presente em todos os fluxogramas de tratamento e onde pode ser feito o dimensionamento de calha Parshall, grade de barras e desarenador, responsáveis pela remoção de sólidos grosseiros e areia; e para

autodepuração de corpos hídricos, onde é avaliada a capacidade, em um corpo hídrico, de autodepuração, processo natural no qual cargas poluidoras, de origem orgânica, lançadas em um corpo d'água são neutralizadas. Um fluxograma representando as opções de tratamento e análise disponíveis pode ser visualizado na figura 1.

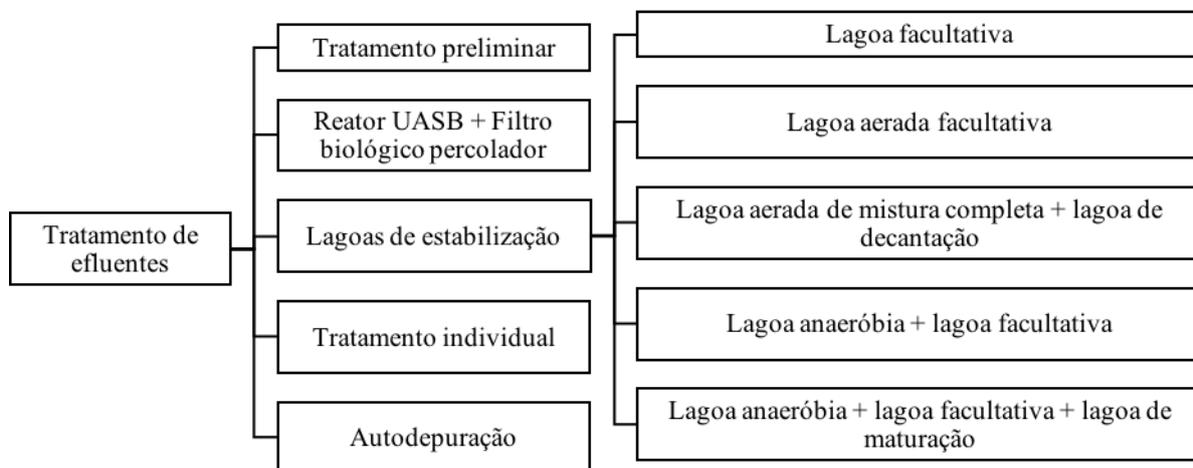


Figura 1: Fluxograma apresentando opções de tratamento disponíveis no menu da aplicação. Fonte: Autor, 2019.

SEGUNDA ETAPA: DESENVOLVIMENTO DA APLICAÇÃO WEB

Nesta etapa, objetivou-se a criação da aplicação web. O desenvolvimento da aplicação foi realizado no editor de código-fonte Visual Studio Code, criado e disponibilizado pela Microsoft. Foram adotadas as linguagens de programação *front-end* HTML, CSS e JavaScript, onde a escolha destas pode ser justificada na amplitude da difusão de smartphones, nos quais a aplicação pode ser facilmente acessada, sem a necessidade de instalação de um software, além da simplicidade na implementação. A linguagem HTML (do inglês: *HyperText Markup Language*) foi utilizada, por meio do uso de marcadores (do inglês: *tags*), para a construção do corpo do site, inserção de texto, imagens, botões, tabelas e formulários, assim como seus respectivos campos; o mecanismo CSS (do inglês: *Cascading Style Sheets*) é responsável pela estilização das páginas, como cores, fonte, espaçamentos, posicionamento, etc.; e a linguagem JavaScript foi utilizada para a criação das funções responsáveis por identificar os campos contendo as variáveis de entrada, utilizar estas variáveis para realizar os cálculos de dimensionamento e retornar os resultados aos campos destinados às variáveis de saída.

As páginas da aplicação são compostas, essencialmente, por seções contendo formulários, onde, em cada formulário, há campos a serem preenchidos que receberão os dados de entrada e campos que mostrarão os dados de saída. Para cada seção, foram criadas funções, em JavaScript, que realizam cálculos de dimensionamento e estas funções são acionadas pelo usuário através de botões. Cada função recebe dados de entrada provenientes dos campos encontrados nas páginas, realiza os cálculos e retorna estes valores para a página, nos campos destinados às variáveis de saída, conforme mostrado na figura 2. Os valores dos dados de entrada devem estar nas unidades correspondentes às unidades requeridas pelas fórmulas utilizadas, especificadas em cada página.

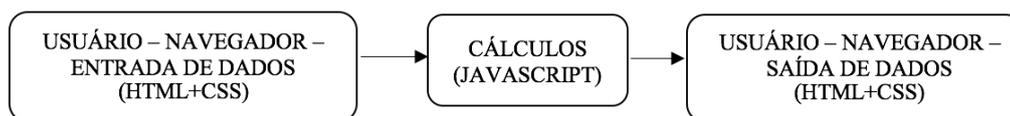


Figura 2: Fluxograma de realização de cálculos. Fonte: Autor, 2019.

O modelo do layout foi retirado e adaptado do template disponível no site <https://github.com/puikinsh/notika> e o site foi hospedado no servidor <<https://www.godaddy.com>>.

TERCEIRA ETAPA: ESTUDO DE CASO PARA VALIDAÇÃO DA APLICAÇÃO WEB

A fim de se comprovar a eficiência da aplicação de realizar corretamente os cálculos de dimensionamento, realizaram-se três estudos de caso, comparando-se os dimensionamentos executados pela aplicação àqueles realizados por Von Sperling (2014); Jordão e Pessôa (2014); e Von Sperling (2017), utilizando-se dos mesmos dados, os quais podem ser observados na tabela 3.

Tabela 3: Dados utilizados no dimensionamento de lagoa facultativa e fossa séptica, e análise da autodepuração de um corpo hídrico.

Sistema de tratamento	Dados de entrada	Valores
Lagoa facultativa	Vazão afluente	3000 m ³ /d
	Concentração de substrato afluente	350 mg/l
	Taxa de aplicação superficial	220 kgDBO ₅ /ha.d
	Profundidade	1,80 m
	Relação comprimento/largura	2,5
	Temperatura do efluente no mês mais frio	23 °C
Fossa séptica e sumidouro	Número de pessoas ou unidades de contribuição	26 hab
	Contribuição “per capita” de despejos	130 l/hab.d
	Taxa de acumulação de lodo digerido	57 d
	Contribuição de lodo fresco	1,00 l/hab.d
	Profundidade útil fixada	1,50 m
	Largura estimada da fossa	1,20 m
	Coefficiente de infiltração de água no solo	90 l/m ² .dia
Número de sumidouros	2 unidades	
Autodepuração	Vazão do rio	0,76 m ³ /s
	Vazão de esgotos	0,114 m ³ /s
	Demanda bioquímica de oxigênio do rio	2,0 mg/l
	Demanda bioquímica de oxigênio de esgotos	341 mg/l
	Concentração de oxigênio dissolvido do rio	7,1 mg/l
	Concentração de oxigênio dissolvido de esgotos	0,0 mg/l
	Concentração de saturação de oxigênio	7,9 mg/l
	Coefficiente de desoxigenação	0,40 d ⁻¹
	Coefficiente de decomposição	0,70 d ⁻¹
	Coefficiente de reaeração	4,99 d ⁻¹
	Velocidade do rio	0,26 m/s
Temperatura média da água no mês mais seco	22 °C	

RESULTADOS E ANÁLISE

APLICAÇÃO WEB

Como produto do presente estudo, uma aplicação web para o pré-dimensionamento de estações de tratamento de esgoto foi desenvolvida. Deu-se à aplicação o nome de HidroUVA e esta pode ser encontrada no endereço <www.hidrouva.com.br>.

A aplicação conta com sete páginas que realizam dimensionamento de diferentes tecnologias de tratamento de esgoto e uma página que analisa o processo de autodepuração de corpos hídricos. Ao acessar o site, o usuário se depara com a página inicial, onde ele é levado a escolher com o que quer trabalhar: tratamento de esgoto, tratamento de água ou hidrologia (estes dois últimos a serem desenvolvidos) e que método de tratamento dimensionar ou analisar, como pode ser visto na figura 3.



Figura 3: Página inicial da aplicação web.

Devido ao fato de as lagoas de estabilização serem uma tecnologia relativamente simples, de grande difusão no sistema de tratamento de esgoto brasileiro e de se mostrarem eficientes na remoção de matéria orgânica e organismos patogênicos, além de possuírem diferentes níveis de simplicidade operacional, mais de um fluxograma envolvendo lagoas de estabilização foi considerado, adotando-se aqueles recomendados por Von Sperling (2017).

Desta forma, levando-se em conta a eficiência de remoção de matéria orgânica e organismos patogênicos, e o custo energético, como anteriormente mencionado, as seguintes tecnologias de tratamento foram adotadas:

- Tratamento preliminar: nesta página são realizados cálculos para dimensionamento de calha Parshall, desarenador e grade de barras, obtendo-se valores para suas respectivas dimensões e área, assim como número de barras e espaçamento das barras, na seção de grade de barras;
- Lagoa facultativa: realiza cálculos para obtenção das dimensões, área, volume e tempo de detenção hidráulica, entre outros dados, de uma lagoa facultativa, em que o processo de tratamento que se dá apenas por fenômenos naturais, por meio da estabilização da matéria orgânica por microrganismos;
- Lagoa aerada facultativa: diferencia-se das lagoas facultativas convencionais pela fonte de suprimento de oxigênio, em que as convencionais recebem oxigênio da fotossíntese de algas e as aeradas obtém seu oxigênio de aeradores. Não obstante, realiza os mesmos cálculos de dimensionamento, acrescido apenas das seções de dimensionamento de requisitos de oxigênio e energia;
- Lagoa aerada de mistura completa seguida de lagoa de decantação: nesta página são realizados cálculos de dimensionamento para obtenção de dimensões, área, volume e tempo de detenção hidráulica para ambas as lagoas; e eficiência de remoção de DBO, requisitos de oxigênio e de energia para a lagoa aerada de mistura completa;
- Lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa: nesta página são realizados cálculos de dimensionamento para obtenção de dimensões, área, volume e tempo de detenção hidráulica lagoas anaeróbias e facultativas;
- Lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa e lagoa de maturação: diferencia-se do sistema anterior pela presença de lagoas de maturação, onde o objetivo é a remoção do efluente de organismos patogênicos, como bactérias, vírus, cistos de protozoários e ovos de helminto;
- Reator UASB seguido de filtro biológico percolador: realiza cálculos de dimensionamento de um reator UASB, obtendo valores para dimensões, área, volume e carga orgânica volumétrica deste; e valores para eficiência de remoção de DBO, dimensões, área, volume, entre outros dados, relativos aos braços distribuidores do filtro biológico percolador;
- Tratamento individual: nesta página são realizados cálculos de dimensionamento de fossa séptica e sumidouro (s), obtendo-se valores para dimensões destas unidades, assim como suas respectivas área e volumes;
- Autodepuração: nesta página é realizada a análise da capacidade de autodepuração de um corpo hídrico após um lançamento pontual único de efluentes, obtendo-se valores de concentração e déficit de oxigênio dissolvido, produzindo, também, um gráfico referente ao perfil de oxigênio dissolvido do rio.

ESTUDO DE CASO PARA VALIDAÇÃO DA APLICAÇÃO WEB

Como método de validação do desempenho da aplicação web, foram realizados três estudos de caso. Como mencionado anteriormente, comparou-se os dimensionamentos e análise executados na aplicação àqueles realizados por Von Sperling (2014); Jordão e Pessoa (2014); e Von Sperling (2017), utilizando-se dos dados

providos por estes autores. Foram abordadas as tecnologias de lagoa facultativa, tratamento individual (fossa séptica e sumidouro), e análise da autodepuração de um corpo hídrico com um lançamento pontual único. Os dados de entrada utilizados pelos autores podem ser visualizados tabela 1.

Após obtidos os dados de entrada, estes foram inseridos nos campos correspondentes das páginas, como pode ser visualizado nas figuras 4, 5 e 6. É importante ressaltar que uma conversão nos valores de vazão foi necessária, uma vez que a aplicação recebe estes valores em litros por segundo, ao passo que Von Sperling (2017) fornece os dados em metros cúbicos por segundo.

Vazão média de fim de plano, em L/s	34,72
Taxa de aplicação superficial, em kg DBO/ha.d	220
Concentração de substrato afluente, em mg/L	350
Carga orgânica bruta, em kg/d	1049,93
Área superficial calculada, em m ²	47724,22
Área superficial estimada, em m ²	48000,00

(a)

Modelo de mistura completa	
Temperatura média do mês mais frio, em °C	23
Coefficiente de remoção de DBO corrigido para a temperatura do mês mais frio, em d ⁻¹	0,41
Estimativa da concentração da DBO solúvel efluente, em mg/L	27,6
Concentração da DBO ₅ particulada efluente, em mg/L	28,0
DBO total efluente, em mg/L	55,6
Eficiência de remoção da DBO, em %	84,11

(c)

Dimensões da lagoa

Profundidade	
Profundidade adotada para a lagoa, em m	1,8
Volume da lagoa, em m ³	86400,00
Tempo de detenção hidráulica, em dias	29

Comprimento e Largura	
Relação Comprimento/Largura adotada, deve estar entre 2 e 4	2,5
Comprimento da lagoa, em m	348,00
Largura da lagoa, em m	139,00

Nível	Comprimento	Largura
Terreno	354,00	145,00
Espelho d'água	351,60	142,60
Meia profundidade	348,00	139,00
Fundo	344,40	135,40

(d)

Figura 4: Resultados obtidos na página da aplicação, no dimensionamento de uma lagoa facultativa para carga orgânica bruta e área superficial (a); dimensões da lagoa nas cotas de terreno (b); concentração de DBO, solúvel, particulada e total, e eficiência de remoção desta (c); dimensões da lagoa nas cotas de espelho d'água, meia profundidade e fundo (d).

Pôde-se constatar que, com exceção dos valores de comprimento e largura, foram obtidos os mesmos resultados que aqueles encontrados por Von Sperling (2017). Isto deveu-se ao fato de a aplicação limitar a quantidade e a disposição das lagoas, não oferecendo a opção de dimensionamento de lagoas em paralelo.



Número de pessoas ou unidades de contribuição (N)	26
Contribuição de despejos, em litro/pessoa x dia, ver Tabela 1 (C)	130
Taxa de acumulação de lodo digerido em dias, equivalente ao tempo de acumulação de lodo fresco, ver Tabela 3 (K)	57
Contribuição de lodo fresco, em litro/pessoa x dia, ver Tabela 1 (Lf)	1
Volume útil da fossa séptica, em m ³	5,29 <input type="button" value="Calcular"/>

Profundidade útil fixada, em m, ver Tabela 4	1,5
Largura da fossa estimada, em m	1,2
Comprimento da fossa, em m	2,90 <input type="button" value="Calcular"/>
Verificação da relação Comprimento/Largura (L/B)	2,42 <i>deve estar entre 2 e 4</i>

(a)

Coefficiente de infiltração de água no solo, em L/m ² .dia	90	Área das paredes do sumidouro	18,78
Número de sumidouros	2	<input type="button" value="Calcular"/>	

(b)

Dimensões do sumidouro

Diâmetro adotado, em m	2	<i>deve ser maior que 1,5m</i>	Profundidade calculada	3,00	<input type="button" value="Calcular"/>
------------------------	---	--------------------------------	------------------------	------	-----------------------------------------

(c)

Figura 5: Resultados obtidos na página da aplicação, no dimensionamento de uma fossa séptica (a); área das paredes de um ou mais sumidouros (b); e dimensões de um ou mais sumidouros (c).



Figura 6: Resultados obtidos na página da aplicação, na análise da autodepuração de um corpo hídrico com lançamento pontual único.

Pôde-se constatar que as diferenças encontradas nos cálculos se deveram exclusivamente a diferentes aproximações nos cálculos. Desta forma, os resultados encontrados nos estudos de caso comprovam que a aplicação web apresenta um desempenho satisfatório no que concerne ao pré-dimensionamento de estações de tratamento efluentes.

CONCLUSÕES

Em detrimento dos problemas de saneamento básico no cenário brasileiro, a aplicação web desenvolvida foi criada com o objetivo de auxiliar e orientar na disseminação de informações a respeito do dimensionamento de Estações de Tratamento de Esgoto, tendo como público-alvo estudantes de graduação e pós-graduação das disciplinas de Saneamento Básico, e profissionais da área na determinação de parâmetros de projetos, uma vez que os métodos de tratamento abordados se apresentam satisfatoriamente aplicáveis e condizentes com a realidade brasileira.

Com a análise dos resultados, pôde-se, portanto, concluir que a aplicação atende satisfatoriamente os objetivos estabelecidos e pode ser utilizada para o dimensionamento dos métodos de tratamento apresentados. A aplicação poderá ser usada por acadêmicos que buscam aprender mais sobre o tratamento de esgotos, assim como por profissionais no tocante a projetos de saneamento. Andrade (2016) chama, porém, a atenção para a qualidade dos dados utilizados, onde para a obtenção de resultados satisfatórios com a utilização da aplicação é necessário que o usuário possua algum conhecimento acerca de tratamento de esgotos.

Por fim, pode-se apontar alguns tópicos para colaborações futuras. Além das tecnologias de tratamento atualmente abordadas na aplicação, sugere-se a ampliação da gama de tecnologias disponíveis para o dimensionamento, tais como sistemas de lodos ativados; filtros anaeróbios em fluxogramas de tratamento individual; e tecnologias de pós-tratamento para efluentes de reatores UASB. Sugere-se, também, a abordagem de outros segmentos, tais como tratamento de água, hidrologia e dimensionamento de canais de escoamento. Desta forma, uma maior concentração de informações sobre recursos hídricos poderá ser encontrada na aplicação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDRADE, V. S. Sistema Computacional para pré-dimensionamento de estações de tratamento de esgotos domésticos para municípios de pequeno e médio porte. Trabalho Final de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Juiz de Fora. Minas Gerais, 2016.
2. AESBE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS ESTADUAIS DE SANEAMENTO. PNAD 2005: aumenta o déficit de dos serviços de saneamento básico. Projeções indicam universalização em 50 anos. AESBE Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento, 2006.
3. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12209: Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários. Rio de Janeiro, 2011.
4. _____. NBR 13969: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.
5. BARROS, H. B. Sistema auxiliar a projetos de estações de tratamento de esgotos compactas: SAPETEC. 2013. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013. Disponível em: <<http://repositorio.utfpr.edu.br:8080/jspui/handle/1/587>>. Acesso em: 07 fev. 2019.
6. BRAGA, B. et al. Introdução à Engenharia Ambiental – 2a ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. 318p. ISBN: 978-85-7605- 041-4
7. BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2016. Brasília: SNSA/ MCIDADES, 2018. 220 p.: il.
8. GUIMARÃES, A. J. A. et al. Saneamento básico. UFRRJ. Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <<http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/Apostila%20IT%20179/Cap%201.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2019.
9. IMHOFF, K.; IMHOFF, K.R. Manual de tratamento de águas residuárias. São Paulo: Edgard Blucher, 1996. 301p. ISBN: 852120132X.
10. IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2002. 397p.
11. _____. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (2008). ISBN 978-85-240-4135-8. Rio de Janeiro, 2010.
12. _____. Atlas Nacional de Saneamento Básico 2011. 268p. ISBN 978-85-240-4202-7. Rio de Janeiro, 2011.
13. ITB – INSTITUTO TRATA BRASIL. Benefícios Econômicos e Sociais da Expansão do Saneamento no Brasil. Nov. 2018. Disponível em:



- <http://www.tratabrasil.org.br/images/estudos/itb/beneficios/sumario_executivo.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2019.
14. JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. Tratamento de Esgotos Domésticos. 7a ed. Rio de Janeiro: ABES, 2014.
 15. MIKOWSKI, A. A. B.; TAKEUCHI, C. M. Sistema informatizado para dimensionamento de unidades de tratamento de esgoto. Trabalho Final de Curso (Graduação em Engenharia de Produção Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.
 16. ROCHA, K. M. et al. Desenvolvimento de Software para Pré-Dimensionamento de Reatores Anaeróbios de Manta de Lodo - UASB. 1999. Trabalho apresentado ao 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro – RJ, 1999. Disponível em: <<http://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/ric/article/download/29258/22933>> Acesso em: 15 fev. 2019.
 17. SANTOS, F. F. S. et al. O desenvolvimento do saneamento básico no Brasil e as consequências para a saúde pública. Revista Brasileira de Meio Ambiente, v.4, n.1. p.241-251, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.2543054>
 18. VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3a ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, v. 1).
 19. _____. Estudos e modelagem da qualidade da água dos rios. 2a ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, v. 7).
 20. _____. Lagoas de estabilização. 3a ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2017. (Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, v. 3).