

VI-058 - UTILIZAÇÃO DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO NO BRASIL

Bernardo Costa Mundim⁽¹⁾

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Mestre em Engenharia Ambiental pelo Programa de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PEA/UFRJ). Doutorando em Engenharia Ambiental no PEA/UFRJ.

Isaac Volschan Junior

Professor Titular do Departamento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Bettina Susanne Hoffmann

Professora Adjunta do Departamento de Processos Orgânicos da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Endereço⁽¹⁾: Travessa Jorge Fernandes, 65 - Centro - Monte Carmelo - MG - CEP: 38500-000 - Brasil - Tel: +55 (34) 99168-6255 - e-mail: bernardo.mundim@gmail.com

RESUMO

As estações de tratamento de esgoto doméstico (ETEs) são projetadas e implementadas para minimizar e evitar a degradação ambiental, todavia, elas também geram impactos ambientais, desde de sua construção até sua demolição. Dessa forma, instrumentos que avaliam o desempenho ambiental de ETEs são necessários, dentro os quais, destaca-se a avaliação do ciclo de vida (ACV). Nesse contexto, este artigo analisou a utilização da metodologia de avaliação do ciclo de vida em estações de tratamento de esgoto doméstico no Brasil. Para tal, pesquisaram-se e selecionaram-se estudos brasileiros que aplicassem a ACV em estações de tratamento de esgoto doméstico. Os estudos foram pesquisados em bases de dados nacionais e internacionais através da combinação de diversas palavras-chaves, selecionaram-se os estudos em que o autor principal tivesse afiliação brasileira. Selecionados os estudos, avaliaram-se as características dos mesmos. Foram encontrados somente 2 artigos, que apresentam semelhanças e diferenças. Conclui-se que: (i) utilização da metodologia de ACV em ETEs ainda é muito incipiente no Brasil, o que acaba não contribuindo para o desenvolvimento de ETEs Sustentáveis no país; (ii) as NBRs ISO 14040 e 14044 ainda não motivaram a aplicação da ACV em ETEs no Brasil; (iii) a análise de incerteza é relevante e deve ser considerada em estudos de ACV; e, (iv) a escolha da vida útil deve ser realizada com criticidade.

PALAVRAS-CHAVE: ACV, Sustentabilidade, Tratamento de Esgoto.

INTRODUÇÃO

As estações de tratamento de esgoto doméstico (ETEs) são imprescindíveis para minimizar e evitar a degradação da qualidade ambiental, dado que quando o esgoto doméstico não é tratado adequadamente, causa diversos impactos ambientais, como: doenças de veiculação hídrica, eutrofização de corpos d'água, toxicidade, depleção de oxigênio, etc. No entanto, apesar das ETEs contribuírem para se ter um meio ambiente ecologicamente equilibrado, elas também geram impactos ambientais durante suas vidas úteis, da construção até a demolição. Dentre esses impactos, têm-se: mudanças climáticas, depleção hídrica, eutrofização, depleção de recursos minerais, transformação e uso de área natural (JORDÃO E PESSÔA, 2014; VON SPERLING, 2014).

Lopes *et al.* (2018) afirmam que ETEs precisam ir além da proteção da saúde humana e das águas superficiais, devem minimizar a perda de recursos escassos, por meio da redução do consumo de energia, do uso de água e da geração de resíduos. Ademais, têm de possibilitar a reciclagem de água e macronutrientes.

Dessa maneira, instrumentos de avaliação ambiental são necessários para caracterizar os impactos positivos e negativos associados às estações de tratamento de esgoto doméstico, fornecendo subsídios para se tomar melhores decisões em relação a quais tecnologias de tratamento adotar, e fomentando a sustentabilidade das ETEs (GUTIERREZ, 2014).

Dentre os instrumentos de avaliação ambiental, destaca-se a avaliação do ciclo de vida (ACV), que é uma metodologia para quantificar os aspectos ambientais e os impactos ambientais potenciais associados aos diversos estágios de um produto, serviço ou processo, através do levantamento e quantificação da energia e dos materiais necessários (entradas) e dos resíduos e das emissões liberados ao meio ambiente (saídas), desde a aquisição de matérias-primas, produção, uso, tratamento pós-uso, reciclagem até a disposição final, isto é, do berço ao túmulo, expressão frequentemente utilizada nesta temática (ABNT, 2009a; COROMINAS *et al.*, 2013; GUTIERREZ, 2014).

A ACV teve seu início na década de 1960 e, desde então, um grande número de abordagens tem sido desenvolvido para diferentes campos de conhecimento. No final dos anos 90, a pressão cresceu para padronizar a ACV, o que levou ao desenvolvimento de padrões de ACV na série 14000 da *International Organization for Standardization* (ISO) (COROMINAS *et al.*, 2013). No Brasil, as normas técnicas ISO referentes à ACV foram incorporadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio das normas ABNT NBR ISO 14040 e ABNT NBR ISO 14044 (ABNT, 2009a, 2009b).

No âmbito desse assunto, resalta-se o artigo elaborado por Rau *et al.* (2016), que avalia a aplicação da ACV em sistemas de tratamento de efluentes a nível mundial. Os autores concluíram que a ACV é uma ferramenta muito importante na determinação dos impactos ambientais gerados pelos sistemas de tratamento de efluentes.

OBJETIVO

Analisar a utilização da metodologia de avaliação do ciclo de vida em estações de tratamento de esgoto doméstico no Brasil.

METODOLOGIA

A revisão integrativa foi o método escolhido para o desenvolvimento do presente estudo, uma vez que permite a síntese e análise do conhecimento científico já produzido sobre a temática investigada. Ademais, possibilita que os leitores obtenham informações e, em consequência, avaliem a relevância dos procedimentos utilizados na elaboração da revisão bibliográfica (BOTELHO *et al.*, 2011).

Segundo Botelho *et al.* (2011), o método da revisão integrativa é composta pelas seguintes etapas: (i) identificação do tema e seleção da questão de pesquisa; (ii) estabelecimento de critérios de inclusão e exclusão; (iii) identificação dos estudos pré-selecionados e selecionados; (iv) categorização dos estudos selecionados; (v) análise e interpretação dos resultados; e, (vi) apresentação da revisão/síntese do conhecimento.

Com base nas etapas sobreditas, preliminarmente, definiu-se que o tema a ser estudado seria a utilização da avaliação do ciclo de vida em estações de tratamento de esgoto doméstico no Brasil.

Sendo assim, para representar a realidade brasileira em relação a utilização da ACV em ETEs, estabeleceu-se que somente estudos brasileiros seriam considerados para o desenvolvimento deste trabalho.

Nessa lógica, consideraram-se artigos publicados em língua portuguesa e inglesa, todavia, o autor principal tinha que ter afiliação brasileira.

Para buscar os estudos supracitados, decidiu-se utilizar as seguintes combinações de palavras-chave: (i) avaliação do ciclo de vida + tratamento de esgoto; (ii) avaliação do ciclo de vida + tratamento de efluentes; (iii) ACV + tratamento de esgoto; (iv) ACV + tratamento de efluentes; (v) ACV + ETE; (vi) *life cycle assessment* + *wastewater treatment*; (vii) *life cycle assessment* + *sewage treatment*; (viii) *LCA* + *wastewater treatment*; (ix) *LCA* + *sewage treatment*; e, (x) *LCA* + *WWTP*. É importante mencionar que os acrônimos *LCA* e *WWTP* significam *life cycle assessment* e *wastewater treatment plant*, respectivamente

Utilizando as combinações de palavras-chave descritas acima e levando em conta a afiliação do autor principal, buscaram-se artigos na SciELO e *ScienceDirect*. Escolheram-se essas bases de dados porque representam uma

base de dados nacional e internacional, respectivamente, e dispõem de textos completos, mediante o acesso remoto ao Portal de Periódicos da Capes.

É importante mencionar que para otimizar a procura na *ScienceDirect*, refinaram-se as buscas através da inserção da palavra *Brazil* no campo *Author Affiliation*, ainda assim, foi verificado se o autor principal tinha afiliação brasileira, uma vez que esse refinamento também considera a afiliação dos demais autores. Esse artifício não foi utilizado na SciELO, dado que não dispõe de tal facilidade.

Após as etapas supracitadas, selecionaram-se os estudos para posterior leitura dos mesmos na íntegra. Desse modo, pôde-se extrair de cada artigo as seguintes informações: objetivo; afiliação; fronteira do sistema; tecnologia de tratamento de esgoto doméstico; fases incluídas; unidade funcional; banco de dados do inventário do ciclo de vida (ICV); *software* de cálculos; método de avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV); categorias de impacto ambiental; análise de incerteza; e, conclusões.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os critérios de inclusão e exclusão dos artigos e nas bases de dados, encontraram-se somente 2 estudos, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Objetivo e afiliação das referências estudadas.

REFERÊNCIA	OBJETIVO	AFILIAÇÃO
Lutterbeck <i>et al.</i> (2017)	Avaliar o desempenho ambiental de uma estação de tratamento de esgoto localizada numa propriedade rural brasileira	Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC)
Lopes <i>et al.</i> (2018)	Avaliar os impactos ambientais gerados pela construção e operação de uma estação de tratamento de esgoto localizada no município de Lauro de Freitas, Bahia, Brasil.	Universidade Federal da Bahia (UFBA)

Com base na Tabela 1, observa-se que a utilização da ACV em ETEs ainda é muito incipiente no país, o que acaba não contribuindo para o desenvolvimento de ETEs Sustentáveis no Brasil, uma vez que essa metodologia é utilizada em todo mundo para avaliar o desempenho ambiental de estações de tratamento de esgoto (COROMINAS *et al.*, 2013).

Nota-se ainda que apesar da ABNT dispor de normas ISO sobre ACV desde 2009 (ABNT, 2009a, 2009b), os artigos são bem recentes e nenhum deles as citou, sugerindo que tais normas ainda não estimularam a aplicação da metodologia no âmbito das estações de tratamento de esgoto. Além disso, infere-se que a normatização é relevante porque define os princípios e a estrutura de uma ACV, o que possibilita que essa metodologia seja aplicada dentro de determinados requisitos e critérios.

A Tabela 2 apresenta a fronteira do sistema, tecnologia de tratamento de esgoto doméstico e fases incluídas de cada referência estudada.

Tabela 2: Fronteira do sistema, tecnologia de tratamento e fases incluídas das referências estudadas.

REFERÊNCIA	FRONTEIRA DO SISTEMA	TECNOLOGIA DE TRATAMENTO	FASES INCLUÍDAS
Lutterbeck <i>et al.</i> (2017)	Coleta e tratamento de esgoto doméstico	Reator UASB + Filtro Anaeróbio + <i>Wetlands</i> Construídos + Ultravioleta	Construção e operação
Lopes <i>et al.</i> (2018)	Tratamento de esgoto doméstico	Reator UASB + <i>Wetlands</i> Construídos + Cloração	Construção e operação

Perante a Tabela 2, verifica-se que Lutterbeck *et al.* (2017) avaliaram o desempenho ambiental tanto da coleta como do tratamento de esgoto doméstico, todavia, pelo fato de o objeto estudado por esses autores ser um sistema descentralizado de esgotamento sanitário, a etapa de coleta é bastante simples, semelhante a instalações sanitárias de uma residência, logo, os impactos ambientais associados a esse sistema é principalmente devido ao tratamento de esgoto.

Constata-se também que ambos os trabalhos avaliaram tecnologias de tratamento semelhantes, pois, as duas podem ser classificadas como terciárias, já que possuem processos de desinfecção (JORDÃO E PESSÔA, 2014; VON SPERLING, 2014). Entretanto, a remoção satisfatória de nutrientes, que também é uma determinante para classificar o tratamento como terciário, ocorreu somente na ETE analisada por Lutterbeck *et al.* (2017).

Observa-se ainda que as fases incluídas foram iguais, no entanto, o tratamento e disposição de lodo, que fazem parte da operação de uma ETE, e a demolição das ETEs não foram considerados em nenhum dos artigos. Portanto, entende-se que a inclusão dessas fases em estudos futuros seria interessante, visto que geram impactos ambientais potenciais (SABEEN *et al.*, 2018).

A Tabela 3 exibi a unidade funcional, banco de dados do inventário do ciclo de vida e *software* de cálculos de cada referência estudada.

Tabela 3: Unidade funcional, ICV e *software* das referências estudadas.

REFERÊNCIA	UNIDADE FUNCIONAL	ICV		SOFTWARE
		DADOS PRIMÁRIOS	DADOS SECUNDÁRIOS: ECOINVENT	
Lutterbeck <i>et al.</i> (2017)	Tonelada de esgoto tratado	Não foram detalhados	Não foram detalhados	SimaPro 7.3.3
Lopes <i>et al.</i> (2018)	Metro cúbico de esgoto tratado	Consumo de materiais Consumo de energia elétrica Descarga de esgoto tratado Geração de resíduos (exceto lodo)	Produção de materiais de construção Fabricação de produtos químicos Geração de energia elétrica	SimaPro 8.0.1 PhD

Mediante a Tabela 3, constata-se que apesar das unidades funcionais adotadas serem diferentes, podem ser facilmente correlacionadas, por meio da massa específica do esgoto tratado. Nesse sentido, destaca-se a importância da escolha da unidade funcional porque ela quantifica o desempenho de um sistema, constituindo uma referência para relacionar as entradas e saídas (ABNT, 2009a; GUTIERREZ, 2014).

Verifica-se também que Lopes *et al.* (2018) especificaram detalhadamente os dados primários e secundários utilizados, ao passo que Lutterbeck *et al.* (2017) expuseram com clareza somente a utilização dos seguintes dados primários: consumo de materiais e descarga de esgoto tratado.

Assim sendo, critica-se o não detalhamento de dados primários em estudos de ACV, visto que não contribui com o desenvolvimento de inventários de ciclo de vida brasileiros, que são essenciais para a aplicação de uma ACV fidedigna, já que dados secundários podem não representar a realidade do país da maneira mais adequada.

Nota-se ainda que ambos os estudos usaram o banco de dados Ecoinvent e o *software* SimaPro. A utilização de dados secundários a partir do Ecoinvent pode ser pelo fato dele já estar integrado ao SimaPro e ser um dos maiores e mais consistente, o que de fato facilita para o usuário desse programa computacional (SIMAPRO, 2018).

Salienta-se ainda que apesar do SimaPro não ser gratuito, é bastante usado em estudos de avaliação do ciclo de vida de estações de tratamento de esgoto, possivelmente pela razão de estar mais consolidado, dado que é um dos mais antigos a possibilitar a aplicação da ACV (RAU *et al.*, 2016; SIMAPRO, 2018).

Com relação aos métodos de AICV, os utilizados por Lutterbeck *et al.* (2017) e Lopes *et al.* (2018) foram o ReCiPe Midpoint (H) - Endpoint (H) v1.06 e CML 2 baseline 2000, respectivamente.

As categorias de impacto ambiental associadas ao ReCiPe Midpoint (H) v1.06 usadas por Lutterbeck *et al.* (2017) foram: mudanças climáticas; depleção da camada de ozônio; toxicidade humana; formação de oxidantes fotoquímicos; formação de material particulado; radiação ionizante; acidificação terrestre; eutrofização de água doce; ecotoxicidade terrestre; ecotoxicidade de água doce; eutrofização marinha; ecotoxicidade marinha; uso de

solo agrícola; uso de solo urbano; transformação de área natural; depleção de recursos minerais; depleção de combustíveis fósseis; e, depleção hídrica. As três áreas de proteção associadas ao ReCiPe Endpoint (H) v1.06 usadas por esses autores foram: saúde humana, qualidade do ecossistema e escassez de recursos.

Já as categorias de impacto ambiental relacionadas com CML 2 baseline 2000 utilizadas por Lopes *et al.* (2018) foram: depleção de recursos abióticos, mudanças climáticas, acidificação e eutrofização.

A grande diferença entre a quantidade de categorias de impacto ambiental considerada nos artigos é por causa do objetivo de cada um. Lutterbeck *et al.* (2017) optaram por considerar a gama mais ampla de impactos ambientais, especificamente os associados aos materiais de construção usados na ETE. Enquanto Lopes *et al.* (2018) definiram os impactos ambientais com base na disponibilidade e significância de dados. Portanto, infere-se que é interessante a seleção das categorias de impacto ambiental considerar o objetivo do estudo e as particularidades do local onde se pretende realizar uma ACV.

No que tange a análise de incerteza, Lutterbeck *et al.* (2017) e Lopes *et al.* (2018) não quantificaram nenhuma incerteza de seus resultados. Entende-se que é pertinente a realização de análise de incerteza em estudos de ACV porque é um procedimento sistemático para quantificar a incerteza introduzida nos resultados de uma análise de inventário do ciclo de vida pelos efeitos cumulativos da imprecisão dos modelos, incerteza das entradas e variabilidade dos dados (ABNT, 2009a).

Por último, têm-se as conclusões dos artigos:

- Lutterbeck *et al.* (2017) concluíram que 67,3% dos impactos ambientais foram relacionados a construção do sistema, enquanto 32,7% estavam associados a operação. Os principais responsáveis pelos impactos ambientais na construção foram o Reator UASB e o Ultravioleta. Já na operação, o principal contribuinte para a geração dos impactos ambientais foi o Reator UASB, principalmente por causa das emissões de gás metano;
- Lopes *et al.* (2018) concluíram que a madeira tratada e o aço CA-50 foram os grandes responsáveis pelos impactos ambientais na construção da ETE. Na fase de operação, o uso do cloro e a descarga de esgoto tratado geraram os maiores impactos ambientais, além disso, a presença de macronutrientes e a geração de gás metano também foram responsáveis por impactos ambientais significativos. Os autores concluíram ainda que os impactos ambientais da operação da ETE foram mais expressivos do que os da construção em todas as categorias consideradas.

De acordo com as conclusões supramencionadas, observa-se que os artigos obtiveram resultados divergentes quanto aos impactos ambientais gerados pela construção e operação, todavia, é importante salientar que Lutterbeck *et al.* (2017) estabeleceram 10 anos para a vida útil do sistema, ao passo que Lopes *et al.* (2018) consideraram 20 anos. Lutterbeck *et al.* (2017) destacaram que, caso a vida útil tivesse sido maior, os impactos ambientais da construção poderiam ser reduzidos quando comparados com os da operação. Dessa maneira, infere-se que a escolha da vida útil deve ser realizada com criticidade em estudos de ACV que têm como objetivo comparar as fases de operação, construção e demolição de ETEs.

Por fim, nota-se ainda que Lutterbeck *et al.* (2017) e Lopes *et al.* (2018) concordaram na conclusão de que o principal responsável pela geração dos impactos ambientais da operação de Reator UASB é o gás metano, sendo assim, esses autores também recomendaram a redução das emissões desse gás para a mitigação dos impactos ambientais, como, por exemplo, a recuperação de energia através da queima do metano.

CONCLUSÕES

O presente artigo tem como objetivo analisar a utilização da metodologia de avaliação do ciclo de vida em estações de tratamento de esgoto doméstico no Brasil, com seu desenvolvimento pôde-se concluir que:

- A utilização da metodologia de ACV em ETEs ainda é muito incipiente no Brasil, o que acaba não contribuindo para o desenvolvimento de ETEs Sustentáveis no país;
- As NBRs ISO 14040 e 14044 ainda não motivaram a aplicação da ACV em ETEs no Brasil;
- A carência de estudos que abordem a ACV em ETEs não colabora com o desenvolvimento de inventários de ciclos de vida brasileiros, os quais são essenciais para uma ACV fidedigna;

- Os artigos estudados apresentam características semelhantes para: tecnologia de tratamento de esgoto doméstico, fases incluídas, unidade funcional, banco de dados secundários e *software* de cálculos;
- A análise de incerteza não foi utilizada em nenhuma referência estudada, todavia, ele é relevante e deve ser considerada em estudos de ACV porque possibilita quantificar a incerteza introduzida nos resultados de uma análise de inventário do ciclo de vida;
- A escolha da vida útil deve ser realizada com criticidade em estudos de ACV que têm como objetivo comparar as fases de operação, construção e demolição de ETEs.

Justifica-se a elaboração deste artigo porque é necessário desenvolver a temática de ETEs Sustentáveis no país, sendo a ACV uma metodologia importante para tal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14040: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009a.
2. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14044: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações. Rio de Janeiro, 2009b.
3. BOTELHO, L.L.R., CUNHA, C.C.A., MACEDO, M. O método da revisão integrativa nos estudos organizacionais. *Gestão e Sociedade*, v. 5, n. 11, p. 121-136, ago. 2011.
4. COROMINAS, LI., FOLEY, J., GUEST, J.S., HOSPIDO, A., LARSEN, H.F., MORERA, S., SHAW, A. *Life cycle assessment applied to wastewater treatment: state of the art*. *Water Research*, v. 47, n. 15, p. 5480-5492, jul. 2013.
5. GUTIERREZ, K.G. Análise e gerenciamento de impactos ambientais no tratamento de esgoto doméstico mediante avaliação de ciclo de vida. Belo Horizonte, 2014. Tese de Doutorado-Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos-Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.
6. JORDÃO, E.P., PESSÔA, C.A. Tratamento de esgotos domésticos. 7. ed. Rio de Janeiro: ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2014. 1050 p.
7. LOPES, T.A.S., QUEIROZ, L.M., KIPERSTOK, A. *Environmental performance of a full-scale wastewater treatment plant applying Life Cycle Assessment*. *Revista Ambiente e Água*, v. 13, n. 4, jun. 2018.
8. LUTTERBECK, C.A., KIST, L.T., LOPEZ, D.R., ZERWES, F.V., MACHADO, E.L. *Life cycle assessment of integrated wastewater treatment systems with constructed wetlands in rural areas*. *Journal of Cleaner Production*, v. 148, p. 527-536, fev. 2017.
9. RAU, K., CHERUBINI, E., SOARES, S.R., PAULO FILHO, B., COSTA, R.H.R. Análise da aplicação da ACV em estações de tratamento de efluentes. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 7, n. 3, p. 100-110, 2016.
10. SABEEN, A.H., NOOR, Z.Z., NGADI, N., ALMURAISSY, S., RAHEEM, A.B. *Quantification of environmental impacts of domestic wastewater treatment using life cycle assessment: A review*. *Journal of Cleaner Production*, v. 190, p. 221-233, abr. 2018.
11. SIMAPRO. SimaPro. Disponível em: <<https://simapro.com/>>. Acesso em: 11 out. 2018.
12. VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. 472 p.