

# UTILIZAÇÃO DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA COMO FERRAMENTA SUSTENTÁVEL E DE PESQUISA PARA O TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS

Josivaldo Sátiro <sup>1</sup>  
Antônio Gustavo dos Santos Neto <sup>2</sup>  
José Francisco de Oliveira Neto <sup>3</sup>  
Maria Luiza Ramalho de Araújo <sup>4</sup>  
Antônio Albuquerque <sup>5</sup>

## RESUMO

Com o aumento da deterioração da qualidade da água dos corpos aquáticos decorrente das atividades antrópicas, a utilização de processos biológicos aeróbios para o tratamento de águas residuais (TAR) visa a redução na concentração dos poluentes, principalmente dos nutrientes e da matéria orgânica. Com a necessidade de avaliar a eficácia os sistemas de tratamento, a avaliação de ciclo de vida (ACV) é uma ferramenta sofisticada para auxílio da tomada de decisão. A base de sua estrutura inclui a definição e escopo, a análise de inventário, a avaliação de impacto e a interpretação dos resultados. Sendo um mecanismo confiável e exequível, composto por um aparato científico, que se utiliza modelos matemáticos para avaliar os aspectos ambientais e econômicos. A utilização de softwares com a modelagem dos sistemas permite a inserção de dados nos inventários para obter-se o grau de impacto ambiental do processo. Nesta revisão, investiga-se o ciclo de vida do tratamento aeróbio de águas residuais, além de realizar o levantamento dos aspectos ambientais e econômicos, traça-se com auxílio das ferramentas os insumos energéticos utilizados naquelas tecnologias. A partir do levantamento bibliográfico, observou-se que, o ACV pode indicar melhorias no processo, avaliando as emissões do sistema de tratamento, possibilitando também esboçar as formas de impactos seja na instalação ou operação. Nesta concepção, ainda existem poucos estudos em torno do ACV e da economia circular do TAR, desafios futuros e estudos devem ser em torno da potencialidade e aplicação dos inventários e modelagem matemática para auxílio na tomada de decisão sustentável.

**Palavras-chave:** Avaliação de Ciclo de Vida, Sistemas Aeróbios, Tratamento de Águas Residuais.

---

<sup>1</sup> Doutorando do Curso de Engenharia Civil da Universidade da Beira Interior (UBI), FibEnTech, Portugal, josivaldosatiroo@gmail.com;

<sup>2</sup> Doutorando do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), antoniogustavo.santos@gmail.com;

<sup>3</sup> Doutorando do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), neto\_fbo@hotmail.com;

<sup>4</sup> Mestranda do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), luiza.ramalho@ufpe.br;

<sup>5</sup> Professor Associado, Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura, FibEnTech, GeoBioTec, Universidade da Beira Interior (UBI), Portugal, antonio.albuquerque@ubi.pt.

## INTRODUÇÃO

Com a crise hídrica nas últimas décadas, é imprescindível a investigação e estudo do uso da água, sendo uma forma de possibilitar a população o acesso ao abastecimento de água, a coleta e tratamento de águas residuais com qualidade de acordo com as normas e legislação vigentes, e conseqüentemente, garantir o desenvolvimento socioeconômico e o bem-estar humano. Nesta perspectiva, a gestão e o gerenciamento eficaz das águas residuais é de extrema importância para garantir uma água segura para a população, tanto para os usos diretos quanto para os indiretos (CHACÓN *et al.* 2020). Estas ações permitem um equilíbrio entre a água, seu múltiplo uso e o apoio a realização das atividades humanas (Zhu & Chang, 2020).

Os sistemas de tratamento de águas residuais (TAR) além de remover os poluentes das águas residuais, que podem causar impacto negativo significativo na água e solo, buscam também recuperar os nutrientes, com a finalidade de obtenção de produtos de valor agregado, e a obtenção de um efluente final que pode ser reusado (BECKINGHAUSEN *et al.* 2020). Com a finalidade na diminuição da carga orgânica dos efluentes domésticos e da conversão de resíduos orgânicos em biomassa e CO<sub>2</sub>, o tratamento aeróbio destaca-se entre os sistemas de TAR, visto que, obtém-se um nível de degradação satisfatório das substâncias orgânicas (CHAN *et al.* 2009; MIAO *et al.* 2018).

Nos sistemas aeróbios o principal processo que ocorre é a respiração, por meio da qual são degradados os poluentes e podem ocorrer também a biossíntese e a respiração endógena (SHOW & LEE, 2017). A utilização de processos aeróbios vem crescendo nos últimos anos, não só para TAR domésticas, mas também para tratamento de efluentes industriais (MAGNUSSON *et al.* 2018). A aplicação se torna eficiente e usualmente empregada devido a possibilidade de utilização em pequena e grande escala (BARAKAT *et al.* 2019).

No geral, o TAR pode gerar alguns impactos ambientais, seja na geração de lodo, na emissão de gases e na geração de subprodutos, portanto, a aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) no TAR é uma ferramenta que pode auxiliar para a tomada de decisão quanto aos impactos ambientais e econômicos gerados pelo tratamento (PARRA-SALDIVAR *et al.* 2020). Diante desta problemática, alguns pesquisadores desenvolvem estudos buscando medidas eficazes e aspectos regulatórios

para diminuir a liberação e presença de contaminantes ambientais que geram malefícios para as matrizes das estações de TAR e dos locais de lançamento. Em linhas gerais, a estratégia da ACV é a obtenção do desperdício zero, sendo uma ferramenta sofisticada para avaliar as consequências ambientais de todo o processo (AWAD *et al.* 2019; GALLEGO-SCHMID & TARPANI, 2019).

Com a necessidade de suprir algumas lacunas deixadas pelo processo aeróbio, como a geração dos impactos ambientais e econômicos, seja na fase de implantação ou na fase de execução. Esta revisão busca avaliar os sistemas de TAR que utilizam processos aeróbios e empregam a ACV, utilizando as principais plataformas acadêmicas para levantamento bibliográfico, juntamente com as estratégias que esta ferramenta permite com a ponderação de processos eficientes, precisos, confiáveis e sustentáveis com o mínimo de insegurança ambiental e riscos relacionados a saúde humana.

## **METODOLOGIA**

A presente pesquisa tem o objetivo de realizar o levantamento bibliográfico dos sistemas de tratamento aeróbios habitualmente utilizados para o TAR, realizando a análise dos aspectos ambientais e econômicos. Então, foram utilizadas as plataformas *Scielo*, *Scopus*, *Web of Science* e *Google Scholar* para obter os artigos científicos que abordam o ACV, e assim, sendo possível traçar uma análise crítica em torno desta temática.

Após a definição da base de estudo e as plataformas que seriam utilizadas, determinou-se palavras-chave que são tópicos que determinam o foco ao qual a pesquisa é realizada e a abrangência temporal (entre os anos 2016 e 2021) dos artigos, teses e dissertações que seriam selecionadas. Considerando os objetivos do presente estudo e o tema principal da pesquisa os critérios iniciais das pesquisas e as palavras-chave foram definidas como: “*wastewater treatment*”, “*life cycle assessment*”, “*aerobic sewage treatment domestic review*”, “*life cycle assesment for wastewater*”. Ainda, como apoio para apresentar as discussões, manipulou-se o documento de orientação técnica sobre avaliação de risco disponibilizado pela União Europeia, que relata sobre a avaliação de risco ambiental, a exposição ambiental e os efeitos no meio ambiente.

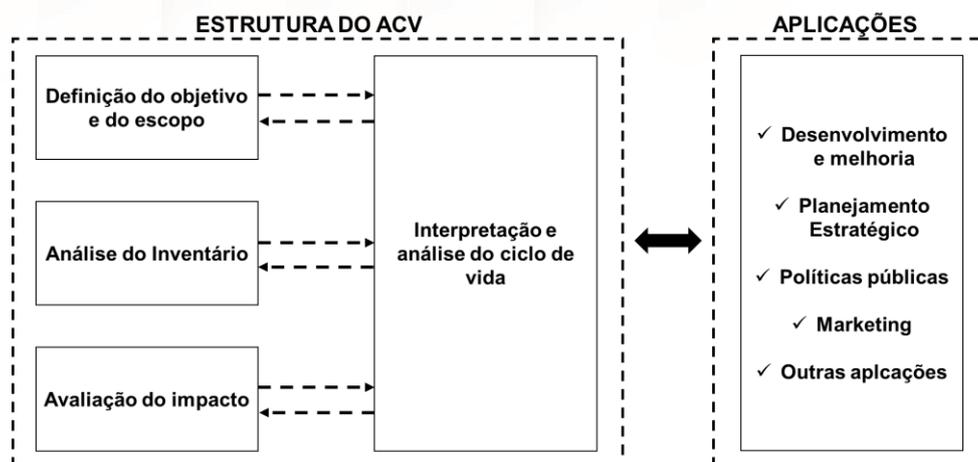
## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### A aplicação da ferramenta de avaliação do ciclo de vida

A ACV é uma ferramenta de gestão ambiental que possibilita a quantificação, avaliação dos aspectos ambientais e impactos potenciais associados a processos, atividades ou produtos, e assim, auxiliar na tomada de decisão. A ferramenta foi desenvolvida no final da década de 60 e foi inicialmente utilizada para auxiliar empresas e decisões políticos na comparação dos impactos ambientais entre alternativas para embalagens de produtos (UNEP/SETAC, 2009). Ao longo dos anos, a ACV vem sendo aplicada nas mais diversas áreas da atividade humana, incluindo setor industrial, agricultura, construção civil e saneamento. No caso do TAR, a ACV pode ser utilizada tanto para avaliar os impactos de diferentes alternativas como para avaliar os impactos de falta desse serviço.

Com o objetivo de padronizar os procedimentos e métodos desenvolvidos para ACV, a ISO (*International Organization for Standardization*) publicou as normas de gestão ambiental voltadas para a ferramenta. Os dois padrões que regulamentam a aplicação das ferramentas de ACV, ISO 14040 e ISO 14044, possuem versões brasileiras publicadas pela ABNT: NBR ISO 14040 - princípios e estrutura (ABNT, 2009a) e NBR ISO 14044 - requisitos e orientações (ABNT, 2009b). Estas normas estabelecem as quatro fases necessárias para um estudo de ACV, apresentadas na Figura 1. São elas: definição do objetivo e escopo (aplicação pretendida, as razões para a realização do estudo e o público-alvo), análise de inventário (avaliação e compilação dos dados de entrada e saída), avaliação dos impactos (submeter os dados do inventário ao método de avaliação de impacto escolhido) e interpretação (combinação das etapas anteriores a fim de alcançar conclusões e recomendações (ABNT, 2009a).

**Figura 1:** Fases de uma ACV



**Fonte:** Adaptado da ABNT (2009a)

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS) e o Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF), muitos países desenvolvidos buscam a implementação de sistemas de coleta e tratamento de águas residuais, isso corresponde a 91% da população atendida. A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável (ODS) indica a necessidade do consumo seguro de água, saneamento eficaz e excelente higiene. Contudo, para colocar em prática essas questões, esbarra-se em limitações e falhas no processo, necessitando de um entendimento do desperdício e processo de proteção (ONU, 2017). Todavia, em virtude desta problemática ambiental, faz-se necessário avaliar o impacto ambiental das indústrias e estabelecimentos que geram contaminantes e micro poluentes que são descartados de forma inadequadas no ambiente em geral e nos mananciais (AWAD *et al.* 2019).

Por sua vez, esta ferramenta possibilita aplicação em diferentes cadeias produtivas e de valor. No geral, este instrumento é confiável, tendo consigo um aparato científico e uma abordagem compreensível utilizando uma gama de modelos matemáticos para avaliar os aspectos ambientais (ZANGHELINI *et al.* 2020). Sendo assim, a aplicação deste mecanismo possibilita o fornecimento base para adoção de medidas mitigadoras sendo elas preventivas ou corretivas. Apontando-se relevantes na tomada de decisão e auxiliando no entendimento de temas gerais como desenvolvimento de novos serviços e produtos, rotulagem ambiental, preservação dos recursos naturais e os pontos críticos dos sistemas (LOPES *et al.* 2017).

Com a necessidade do desenvolvimento sustentável e padronizado diversos segmentos buscam a aplicação do ACV, estabelecendo modelo de custo e lucro para

avaliação do potencial ambiental e os benefícios econômicos do processo. Então, indústrias de automóveis (ZHANG *et al.* 2020), de produção agrícola (como o cultivo de arroz) (LIU *et al.* 2020), indústria de laticínios (como a fabricação do queijo) (TARIGHALESAMI *et al.* 2020), segmentos de revestimentos cerâmicos (WANG *et al.*, 2020) e ainda, no TAR (COROMINAS *et al.* 2020; GARFÍ *et al.* 2017; KOHLHEB *et al.* 2020) buscam analisar o fluxo de entrada e saída dos produtos e serviços, como também, as alterações positivas e negativas no meio ambiente, incluindo as fases de desenvolvimento do produto até a destinação final.

Nesta concepção os autores Visentin *et al.*, 2020, indicam que a ACV deverá ser abordado e estudado com a soma de vertentes consideradas no processo como o *Life Cycle Sustainability Assessment (LCSA)*, *Life Cycle Cost (LCC)* e o *Social Life Cycle Assessment (s-LCA)*, sendo esta correlação ideal para estimar a sustentabilidade de um produto, setor ou economia. Tendo em vista, que a maioria dos estudos deixam de lado as questões sociais, a ausência deste tópico poderá resultar em um déficit na integração final do ciclo de vida de um sistema.

Em virtude da necessidade de aprimorar o desempenho no uso desta ferramenta, algumas contribuições teóricas apontam que a integração do custo e da ACV por intermédio da cadeia de valor pode reduzir os custos, melhorar o desempenho ambiental, aumentar a eficiência econômica e a tomada de decisão estratégica (ATIA *et al.* 2020). Ainda, nesta dimensão, de uma forma mais exequível e fundamentada, com a junção e aplicação dos impactos sociais, econômicos e ambientais pode-se considerar uma forma mais estruturada para uma tomada de decisão, executada de forma mais eficiente e eficaz (SCHRAMM *et al.* 2020).

Uma linha frequentemente abordada quando se estuda o ACV, é a sua aplicação à redução das emissões de CO<sub>2</sub>, no quadro da redução de carbono. Visto que, algumas normas já definidas como a ISO 14040/2006 e a ISO 14044/2006 quantificam o potencial de impacto ambiental de um produto e serviço (VILCHES *et al.* 2017). Com o aumento do efeito estufa e os impactos decorrentes deste fenômeno, alguns países e continentes acabam tomando decisões mais efetivas para atenuação dos gases com efeito de estufa, como por exemplo, a união europeia fixou o objetivo de reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> em 90% até o ano de 2050 (CUE, 2019).

## **Análise do Inventário do Ciclo de Vida**

Normalmente, após traçar os objetivos e o escopo da aplicação do ciclo de vida no sistema, dá-se início a etapa de coleta de dados para o inventário do ciclo de vida. Os dados coletados devem ser ligados a cada etapa do processo, uma vez que, nesta fase são identificadas e quantificadas todas as entradas e saídas do sistema relacionadas às categorias de impactos referentes ao estudo. Então, a utilização desses bancos de dados e a modelagem dos inventários, permitem uma obtenção de resultado mais fácil, embasado e intuitivo (STEUBING *et al.* 2020).

Algumas vias podem ser consideradas para obtenção dos dados para compor o inventário, dentre essas formas, estão as medições *in loco*, as equações, consulta as publicações científicas, estimativas e bases de dados. Maior parte dos sistemas, compreendem inúmeros processos unitários e a coleta de todos esses dados manualmente consumiria muito tempo e recursos. Com a meta de solucionar essas lacunas alguns softwares foram desenvolvidos para atuarem como facilitadores durante o processo do ACV, tornando o estudo mais rápido e eficiente (CAMPOLINA *et al.* 2015).

No TAR, cada software vai apresentar suas particularidades na forma de inserção dos dados e da demonstração dos resultados. Dentre os softwares que mais utiliza-se nos dias atuais pode-se citar: SimaPro, Umberto, Ecoinvent, Gabi 4 e o OpenLca (FERREIRA, 2015). Ainda, a escolha do software pode associar-se a utilização do tipo de sistema utilizado no TAR, uma vez que alguns sistemas envolvem mais processos e variáveis durante seu processo. É importante salientar, que antes de escolher o software a ser empregado, deve-se saber o grau de impacto de um determinado indicador ambiental e os processos de design de construção (WU *et al.* 2020).

## **Avaliação de Custos (OPEX E CAPEX) nos sistemas de tratamento de águas residuais**

Para avaliação dos sistemas operacionais no geral, e, para o apoio na ACV, a análise das despesas de capital (CAPEX) e as despesas de operação (OPEX) vêm sendo amplamente utilizados em diversos ramos. No primeiro caso, o CAPEX diz a respeito as despesas ou investimentos em bens de capital, ou seja, é aquilo que uma empresa adquire fisicamente para realização do seu serviço. Por outro lado, o OPEX refere-se as

despesas contínuas mensais que são usadas para administrar o negócio. Neste último caso, a utilização dessa ferramenta tem se tornado uma solução inteligente para redução de custos e aumento de produtividade.

No TAR o CAPEX aborda todos os investimentos necessários para a implementação, infraestrutura, fundações, obras estruturais, terrenos e equipamento, transporte e preços de materiais. Ainda, podendo adicionar os custos necessários para substituição de equipamentos. Ainda, o OPEX engloba os custos e despesas operacionais por ano de operação na estação, incluindo assim, custo pessoal, eletricidade, peças e materiais para manutenção, bem como os produtos químicos (KOHLHEB *et al.* 2020).

Na informação da Tabela 1, busca-se traçar os cenários operacionais durante o planejamento estratégico para o tratamento de efluentes, avaliando as perspectivas de uso e a reciclagem de nutrientes. Estes dados podem ser utilizados para a tomada de decisão e avaliação da infraestrutura e gerenciamento das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE). Uma vez que podem ser correlacionados com os padrões fornecidos pela ISO 14040 e 14044 que fornecem diretrizes gerais para realização de estudos de ciclo de vida.

**Tabela 1 Trabalhos que realizaram a comparação das despesas de operação e as despesas de capital em sistemas de TAR aeróbios**

Tipo do sistema operacional	Despesas operacional (OPEX)	Despesas de capital (CAPEX)	Emissões de CO <sub>2</sub>	Observações	Referências
Lagoas de Alta Taxa	13,369 €	294,799 €	146,27 kgCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	As lagoas apresentam-se como sistemas mais viáveis, em termos econômicos e ambientais	(KOHLHEB <i>et al.</i> 2020)
Reatores em Bateladas Sequenciais	24,229 €	211,922 €	458,26 kgCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	Esses sistemas obtiveram melhores remoções de nutrientes, mas com custos de operação maior e valores elevados de emissões diretas de gases.	(KOHLHEB <i>et al.</i> 2020)
Lodo Ativado	0,79 €	540,93 €	1,27 kgCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	Trabalho realizado para operação em pequenas comunidades. Este sistema apresentou-se com o maior impacto ambiental.	(GARFÍ <i>et al.</i> 2017)
Wetland	0,40 €	210,36 €	0,69 kgCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	Trabalho realizado para operação em pequenas comunidades. Se tiver problemas com a ocupação de terra, este sistema é o mais indicado.	(GARFÍ <i>et al.</i> 2017)

Analisando os dados descritos na Tabela 1, entende-se que as lagoas de alta taxa quando comparadas aos outros sistemas operacionais que tratam efluentes domésticos, mostram-se mais viáveis em termos econômicos e ambientais. O levantamento destes dados se faz necessário, uma vez que, com o crescimento da população mundial, garantir saneamento seguro e proteção dos recursos hídricos é contribuir para o desenvolvimento mundial e a saúde pública. Ainda, estas soluções de TAR descentralizados requer aplicações de forma sustentáveis que gere menos impacto para a população e o meio ambiente (KOHLHEB *et al.* 2020).

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os cenários relacionados neste estudo, apontam que nos dias atuais, com o aumento por um desenvolvimento sustentável com tecnologias limpas e sistemas operacionais menos onerosos para as indústrias, o TAR apresenta-se com a demanda de recuperação de recursos para o direcionamento para outras atividades. Desta maneira, a ACV apresenta-se como uma ferramenta importante para auxiliar na tomada de decisão, e também, apontar a alternativa dos sistemas com menor custo de instalação e operação. Avaliando os custos CAPEX e OPEX dos sistemas aeróbios de TAR, entende-se que apesar deste tipo de sistema necessitar valores para capital de instalação superiores, este fator é recompensado na operação do sistema, como a economia energética e a redução de emissão de gases do efeito estufa como o CO<sub>2</sub>. Portanto, a ACV é uma metodologia eficiente que pode ser mais aplicada e estudada no cenário mundial, de uma forma mais padronizada. Esta ferramenta quando associada com outros instrumentos, como a utilização de software pode ser útil para avaliar os impactos ambientais e econômicos em diferentes sistemas de TAR, uma vez que, proporciona uma avaliação segura e robusta do processo, avalia o custo-benefício e a redução dos contaminantes.

## REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009). NBR ISO 14040: Gestão ambiental – **Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura**. ABNT. Rio de Janeiro, 2009.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009). NBR ISO 14044: Gestão ambiental – **Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações**. ABNT. Rio de Janeiro, 2009.
- Atia, N. G., Bassily, M. A., & Elamer, A. A. (2020). Do life-cycle costing and assessment integration support decision-making towards sustainable development? *Journal of Cleaner Production*, 267, 122056. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122056>
- Awad, H., Gar Alalm, M., & El-Etriby, H. K. (2019). Environmental and cost life cycle assessment of different alternatives for improvement of wastewater treatment plants in developing countries. *Science of the Total Environment*, 660, 57–68. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.386>
- Barakat, M. A. E., Kumar, R., Al-makishah, N. H., Neamtallah, A. A., & Alafif, Z. O. (2019). *S-rGO / ZnS nanocomposite-mediated photocatalytic pretreatment of dairy wastewater to enhance aerobic digestion*. 36(8), 1281–1290. <https://doi.org/10.1007/s11814-019-0319-6>
- Beckinghausen, A., Odlare, M., Thorin, E., & Schwede, S. (2020). From removal to recovery: An evaluation of nitrogen recovery techniques from wastewater. *Applied Energy*, 263(October 2019), 114616. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114616>
- Campolina, J. M., Sigrist, C. S. L., & Moris, V. A. da S. (2015). A review of the literature on software used in studies life cycle assessment. *Electronic Journal of Management, Education and Environmental Technology (REGET)*, 19(2), 735–750. <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/15494>
- Chacón, L., Barrantes, K., Santamaría-Ulloa, C., Solano, M., Reyes, L., Taylor, L., Valiente, C., Symonds, E. M., & Achí, R. (2020). A somatic coliphage threshold approach to improve the management of activated sludge wastewater treatment plant effluents in resource-limited regions. *Applied and Environmental Microbiology*, 86(17). <https://doi.org/10.1128/AEM.00616-20>
- Chan, Y. J., Chong, M. F., Law, C. L., & Hassell, D. G. (2009). A review on anaerobic-aerobic treatment of industrial and municipal wastewater. *Chemical Engineering Journal*, 155(1–2), 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.06.041>
- Corominas, L., Byrne, D. M., Guest, J. S., Hospido, A., Roux, P., Shaw, A., & Short, M. D. (2020). The application of life cycle assessment (LCA) to wastewater treatment: A best practice guide and critical review. *Water Research*, 184, 116058. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116058>
- União Europeia (2020). Redução das emissões de carbono: metas e iniciativas da União Europeia. **Comissão Europeia**. Disponível em: <https://www.europarl.europa.eu/news/pt/headlines/society/20180305STO99003/reducao-das-emissoes-de-carbono-metas-e-iniciativas-da-uniao-europeia>. Acesso em: 08 de outubro de 2021

- Gallego-Schmid, A., & Tarpani, R. R. Z. (2019). Life cycle assessment of wastewater treatment in developing countries: A review. *Water Research*, *153*, 63–79. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.01.010>
- Garfí, M., Flores, L., & Ferrer, I. (2017). Life Cycle Assessment of wastewater treatment systems for small communities: Activated sludge, constructed wetlands and high rate algal ponds. *Journal of Cleaner Production*, *161*, 211–219. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.116>
- Kohlheb, N., van Afferden, M., Lara, E., Arbib, Z., Conthe, M., Poitzsch, C., Marquardt, T., & Becker, M. Y. (2020). Assessing the life-cycle sustainability of algae and bacteria-based wastewater treatment systems: High-rate algae pond and sequencing batch reactor. *Journal of Environmental Management*, *264*(March), 110459. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110459>
- Liu, X., Bakshi, B. R., Rugani, B., Maia, D., Souza, D., Bare, J., Johnston, J. M., & Laurent, A. (2020). Quantification and valuation of ecosystem services in life cycle assessment: Application of the cascade framework to rice farming systems. *Science of the Total Environment*, 141278. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141278>
- Lopes, T. A. S., Kiperstok, A., Zanta, V. M., & Queiroz, L. M. (2017). A critical review of the literature on the application of life cycle assessment to wastewater treatment. *Revista DAE*. DOI:10.4322/dae.2017.005
- Magnusson, B., Ekstrand, E. M., Karlsson, A., & Ejlertsson, J. (2018). Combining high-rate aerobic wastewater treatment with anaerobic digestion of waste activated sludge at a pulp and paper mill. *Water Science and Technology*, *77*(8), 2068–2076. <https://doi.org/10.2166/wst.2018.120>
- Miao, Y., Peng, Y., Zhang, L., Li, B., Li, X., Wu, L., & Wang, S. (2018). Partial nitrification-anammox (PNA) treating sewage with intermittent aeration mode: Effect of influent C/N ratios. *Chemical Engineering Journal*, *334*, 664–672. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.10.072>
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (2020). **Conferências de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável**. *Relatório da ONU revela que 2,1 bilhões não têm água potável em casa*. ONU. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2017/07/1590691-relatorio-da-onu-revela-que-21-bilhoes-nao-tem-agua-potavel-em-casa> Acesso em: 08 de dezembro de 2020.
- Parra-Saldivar, R., Bilal, M., & Iqbal, H. M. N. (2020). Life cycle assessment in wastewater treatment technology. *Current Opinion in Environmental Science and Health*, *13*, 80–84. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2019.12.003>
- Schramm, A., Richter, F., & Götze, U. (2020). Life Cycle Sustainability Assessment for manufacturing - Analysis of existing approaches. *Procedia Manufacturing*, *43*, 712–719. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.115>
- Show, K., & Lee, D. (2017). 8 - Anaerobic Treatment Versus Aerobic Treatment. In *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering*. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63665-2.00008-4>
- Steubing, B., Koning, D. De, Haas, A., & Lucien, C. (2020). The Activity Browser —

An open source LCA software building on top of the brightway framework. *Software Impacts*, 3(November 2019), 100012. <https://doi.org/10.1016/j.simpa.2019.100012>

Tarighaleslami, A. H., Ghannadzadeh, A., Atkins, M. J., & Walmsley, M. R. W. (2020). Environmental life cycle assessment of a cheese production plant towards sustainable energy transition: Natural gas to biomass vs. natural gas to geothermal. *Journal of Cleaner Production*, 122999. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122999>

UNEP/SETAC (2009). Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products, United Nations Environment Programme (UNEP) and Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC). Belgium.

Vilches, A., Garcia-Martinez, A., & Sanchez-Montañes, B. (2017). Life cycle assessment (LCA) of building refurbishment: A literature review. *Energy and Buildings*, 135, 286–301. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.11.042>

Visentin, C., William, A., Braun, A. B., & Thomé, A. (2020). Journal Pre of. *Environmental Pollution*, 115915. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115915>

Wang, Y., Liu, Y., Cui, S., Sun, B., Gong, X., Gao, F., & Wang, Z. (2020). Comparative life cycle assessment of different fuel scenarios and milling technologies for ceramic tile production: A case study in China. *Journal of Cleaner Production*, 273, 122846. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122846>

Wu, T., Gong, M., & Xiao, J. (2020). Preliminary Sensitivity Study on an Life Cycle Assessment (LCA) Tool via Assessing a Hybrid Timber Building. *Journal of Bioresources and Bioproducts*. <https://doi.org/10.1016/j.jobab.2020.04.004>

Zanghelini, G. M., Cherubini, E., Dias, R., Onda, Y. H., & Delgado, J. S. (2020). Comparative Life Cycle Assessment of Drinking Straws in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 123070. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123070>

Zhang, L., Ji, K., Liu, W., Cui, X., Liu, Y., & Cui, Z. (2020). Collaborative approach for environmental and economic optimization based on life cycle assessment of end-of-life vehicles' dismantling in. *Journal of Cleaner Production*, 276, 124288. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124288>

Zhu, D., & Chang, Y. J. (2020). Urban water security assessment in the context of sustainability and urban water management transitions: An empirical study in Shanghai. *Journal of Cleaner Production*, 275, 122968. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122968>