

# Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) aplicada em diferentes cenários de recuperação de nutrientes na forma de estruvita: revisão sistemática

**Regiane Pereira Roque**

Universidade Federal do Espírito Santo – Brasil  
[regianepr@gmail.com](mailto:regianepr@gmail.com)

**Natanael Blanco Bená Filho**

Universidade Federal do Espírito Santo – Brasil  
[natanaelblanco\\_@hotmail.com](mailto:natanaelblanco_@hotmail.com)

**Ricardo Franci Gonçalves**

Universidade Federal do Espírito Santo – Brasil  
[rfg822@gmail.com](mailto:rfg822@gmail.com)

## ABSTRACT

*The wastewater nutrients recovery in the form of struvite has been a trend due to the scarcity of phosphorus sources and the large energy expenditure for the production of nitrogen fertilizers. Another reason to replace the industrial fertilizers is directly related to the negative impacts on the environment, such as eutrophication of water bodies. Based on the aforementioned, the goal of the present paper is to perform a bibliometric analysis. Our work aims to review the main scientific articles published in the last five years based on the Life Cycle Assessment (LCA) tool to the evaluation of the sustainability of the processes used to obtain struvite from different types of wastewater. In this way, a survey was carried out followed by a systematic literature analysis using the ProKnow - C method, since it is a descriptive research. Based on the ProKnow - C method, data collection follows pre-established procedures, from the selection of the keywords to the filtering phase. These steps allow the selection of a quality bibliographic portfolio. The bibliometric analysis of data was performed using Microsoft Excel 2016 and statistical charts. Few publications were found on the subject. The results indicate that the environmental aspects are considered favorable to nutrient recovery. However, the need to formulate standardized guidelines to guarantee the quality to the application of LCA methodology in studies of systems for nutrient recovery it is evident.*

**Keywords:** Life Cycle Assessment; Sustainability; Nutrient recovery; Struvite.

## 1. INTRODUÇÃO

A utilização de resíduos do saneamento ambiental para a produção de fertilizantes alternativos apresenta-se como uma grande oportunidade de geração de novos produtos, como a estruvita ( $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$ ). Outro fator que corrobora com a substituição dos fertilizantes industriais é sua relação direta com impactos negativos ao meio ambiente como a eutrofização dos corpos d'água.

Segundo ZHOU et al., (2018), a recuperação de nutrientes através da precipitação química da estruvita tem se demonstrado uma técnica viável economicamente, sendo comprovado por mais de 40 plantas de grande porte em todo o mundo. Porém, pouco se sabe sobre os impactos ambientais

causados pela implementação destas tecnologias. Muitas ferramentas de avaliação de impacto ambiental estão disponíveis, como Estudo de Impacto Ambiental (EIA), Contabilidade de Fluxo de material e Auditoria Ambiental, além da Avaliação do Ciclo de vida (ACV) que pode ser parte integrante do EIA. O EIA é uma ferramenta empregada para avaliar os impactos de um projeto e é específico de um local e tempo e dessa forma, identifica os efeitos ambientais de uma atividade em uma dada localização e período de tempo. A Contabilidade de Fluxo de Material por outro lado é uma família de métodos no qual são inseridos a contabilização de materiais totais requeridos, quantidade de material por unidade e análise de fluxo de substância. Todas essas metodologias possuem enfoque no fluxo de matérias, principalmente os inseridos na cadeia produtiva (FINNVEDEN; MOBERG, 2005).

Porém, uma forma usada pelas agroindústrias brasileiras para quantificar e qualificar os impactos ambientais das diversas etapas de produção, consumo e destino final de produtos ou serviços industriais e agrícolas é através da Avaliação do Ciclo de Vida (CLAUDINO; TALAMINI, 2013). Assim, é recomendado que sejam realizados estudos de Avaliações do Ciclo de Vida antes da implementação de quaisquer técnicas em áreas novas e ou existentes (ADAMSSON; BAN; DAVE, 2003).

A Avaliação do Ciclo de Vida consiste em uma avaliação de sistemas de produção ou produto do “berço ao túmulo”. Nesse sentido, a avaliação é iniciada na obtenção de matérias-primas e finalizada com a disposição de todos os materiais. A ACV se diferencia de métodos tradicionais que estimam impactos ambientais, pois permite estimar os impactos ambientais cumulativos resultantes de todas as fases do ciclo de vida do produto e/ou processos que geralmente são desconsideradas, como: a extração de matérias-primas, material de transporte e disposição final do produto. Com a inclusão dos impactos de todo o ciclo de vida do produto e/ou sistema, a ACV proporciona uma visão ampla dos aspectos ambientais do produto ou processo para que seja realizada uma análise dos prós e contras (WILLERS; RODRIGUES; SILVA, 2013).

Segundo Baitz et al., (2012), a Avaliação de Ciclo de Vida é reconhecida por abordar os impactos ambientais desencadeados por meio das atividades humanas de forma confiável, compreensível e científica. As estimativas geradas através da utilização da ferramenta de ACV levam-nos a obter resultados mais precisos do que estudos com escopos mais limitados. A ACV é um suporte útil na tomada de decisão (MATTHEWS, HENDRICKSON E MATTHEWS, 2015).

A Avaliação de Ciclo de Vida vem se estabelecendo com “padrão ouro” para o estudo dos impactos ambientais gerados por serviços, um sistema ou produto. Desta forma, realizou-se um levantamento sistemático dos estudos que aplicaram a ferramenta de ACV na avaliação da sustentabilidade em diferentes cenários de recuperação de nutrientes na forma de estruvita. Este estudo analisou aspectos bibliométricos, metodológicos e os principais resultados observados na literatura.

## 2. METODOLOGIA

Este estudo foi realizado por meio da aplicação de uma revisão sistemática de literatura com o uso da metodologia *Proknow-C – Knowledge Development Process – Constructivist* (ENSSLIN et al., 2010). Esta metodologia foi desenvolvida no Laboratório de Metodologias Multicritério em Apoio à Decisão (LabMCDA) da UFSC (ENSSLIN, ENSSLIN e PACHECO, 2012), e tem se mostrado uma importante ferramenta na construção do conhecimento dentro das mais variadas áreas de pesquisa

(AFONSO et al., 2011), no qual é dividida em 4 etapas: (I) seleção do portfólio bibliográfico; (II) análise bibliométrica do portfólio bibliográfico; (III) análise sistêmica do portfólio bibliográfico e (IV) elaboração dos objetivos de pesquisa (REINA et al., 2014).

Na etapa de seleção do portfólio bibliográfico, foram selecionados artigos científicos por meio de busca em banco de dados usando palavras-chave definidas de acordo com o tema da pesquisa. A base de dados o *Scopus* foi à adotado nesta etapa devido o mesmo ser fundamentado em métodos bibliométricos (FERENHOF et al., 2014; PINHEIRO; BARTH, 2014). Os autores Afonso et al., (2011) afirmam ser importante a realização de diferentes combinações entre palavras-chave no momento de busca nas bases de dados. Ainda, para que os documentos encontrados sejam adequados ao tema proposto e sugerida a leitura de no mínimo dois artigos entre aqueles encontrados.

Foi realizado um processo de filtragem para selecionar os artigos usados na revisão bibliográfica, no qual, foram definidos critérios para inclusão e exclusão de artigos, obtendo assim um portfólio reduzido com informações do tema de interesse e importância científica. As palavras-chave escolhidas, combinadas e usadas na busca dos artigos foram: “*Struvite*” and “*Life cycle assessment*” or “*LCA*”. Foram selecionados apenas artigos publicados entre os anos de 2013 a 2018. O fator de impacto aplicado na seleção dos artigos foi  $\geq 1.27$ , devido ser um dos critérios estabelecidos pelo *Qualis Capes* para que o artigo receba a classificação A1 na área de engenharias I.

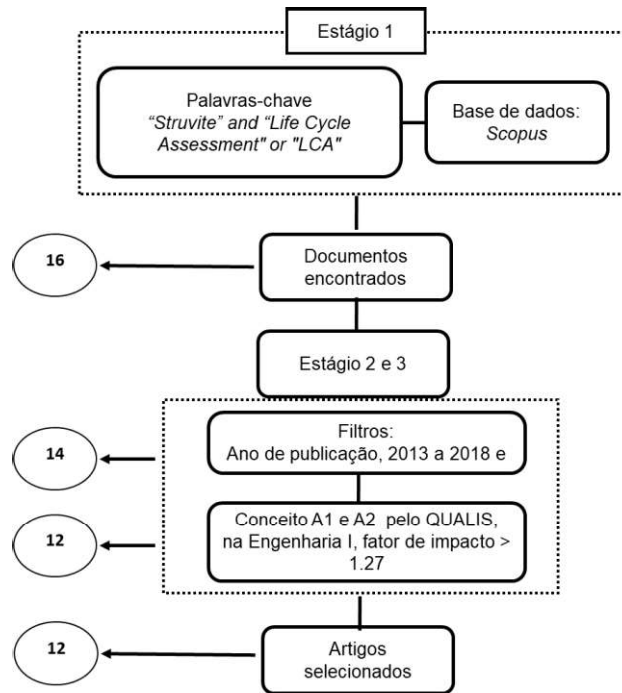
Na etapa de análise bibliométrica do portfólio é crucial o levantamento de indicadores sobre a pesquisa. Entre os principais indicadores destacam-se: os países que mais publicaram sobre o assunto abordado, as instituições e seus respectivos autores, o tipo de documento, o aumento ou déficit do número de trabalhos publicados sobre o tema. O principal objetivo desta análise é demonstrar quantitativamente as informações referentes ao portfólio bibliográfico obtido (ENSSLIN et al., 2010). Todos os dados levantados foram analisados utilizando o *Microsoft Excel 2016*.

O portfólio bibliográfico foi analisado de forma sistemática, através de uma leitura completa dos artigos selecionados, a fim de levantar assuntos importantes sobre o tema estudado e assim, apontar lacunas a serem estudadas. Para facilitar a organização dos dados e consequentemente na análise, serão usadas tabelas no *Microsoft Excel 2016* (AFONSO et al., 2011).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na seleção de trabalhos no banco de dados *Scopus* foram inseridas a combinação das palavras-chaves “*struvite*” and “*life cycle assessment*” or “*LCA*” no início do mês de agosto de 2018. Inicialmente, foram encontrados 16 documentos sendo reduzidos a 14 após a aplicação do filtro em relação ao período desejado, 2013-2018. Após processo de filtragem foram selecionados apenas 12 artigos. Em seguida, os 12 artigos pré-selecionados na etapa anterior foram submetidos aos estágios 2e 3, e por fim foi realizada uma leitura criteriosa permanecendo inalterados (**Figura 1**).

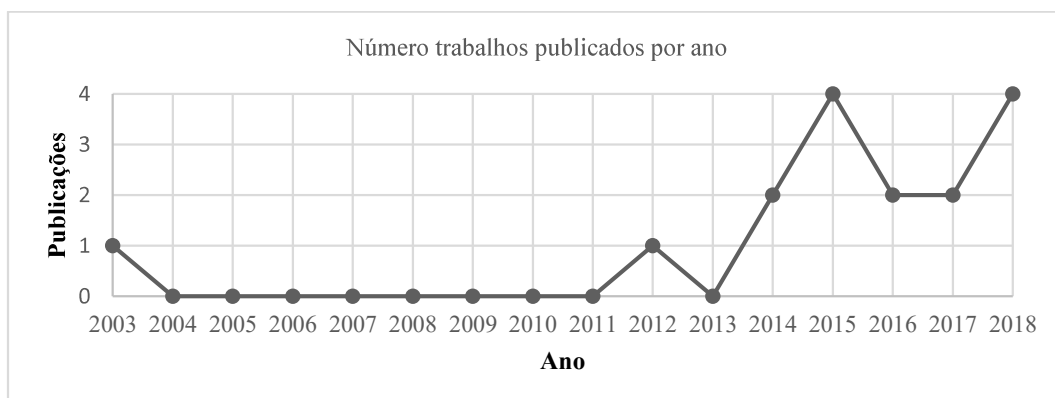
**Figura 1.** Processo para seleção do portfólio bibliográfico.



Fonte: Adaptado de Viegas et al., (2016).

A primeira publicação que apresentou a combinação de palavras-chave em seu contexto foi a “*Nutrients in urine: Energetic aspects of removal and recovery*” (MAURER, SCHWEGLER e LARSEN, 2003), publicado pela revista *Water Science and Technology* sendo citado 136 citações no período analisado. É possível observar, como demonstrado no **Gráfico 1**, que um novo trabalho foi publicado somente em 2012, que continham as palavras-chave analisadas, com o título “*Life cycle assessment of phosphorus alternatives for Swedish agriculture*” (LINDERHOLM; TILLMAN; MATTSSON, 2012).

**Gráfico 1.** Total de publicações por ano entre os trabalhos encontrados no *Scopus* quando combinadas as palavras-chave “*Struvite*” and “*Life cycle assessment*” or “*LCA*”.

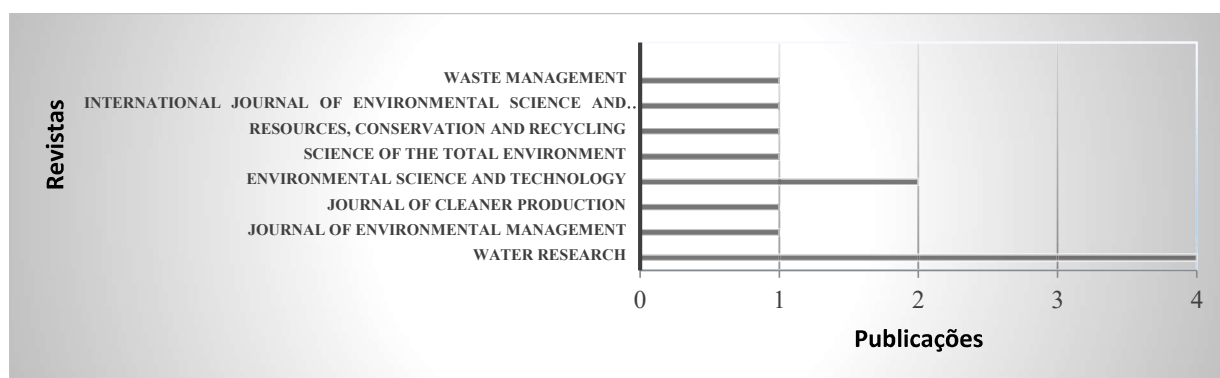


Fonte: Autoria própria, 2018.

Ao considerar o período avaliado é observado que o ano de 2013 não apresentou nenhuma publicação. Em 2014 tiveram 2 publicações, já em 2015 o número de publicações dobrou. Contudo, em 2016 e 2017 o número de publicações reduziu e permaneceu estável até 2018, quando as publicações voltaram a ter um aumento, tornando se evidente o crescente interesse pelo assunto em análise.

Entre os documentos publicados no período de 2013 a 2018 todos foram artigos científicos, sendo 14 em meio digital e 1 na forma impressa. Deste total, 12 foram publicados em periódicos com fator de impacto maior que 1.27 e tiveram classificação A1 simultaneamente. As revistas com fator de impacto acima de 1.27 e classificação A1, com maior número de publicações referentes ao tema da pesquisa, foi a revista *Water Research* (40%), seguida pelas revista *Environmental Science and Technology* (17%). As outras revistas: *Journal of Environmental Management*, *Journal of Cleaner Production*, *Science of the Total Environment*, *Resources, Conservation and Recycling*, *International Journal of Environmental Science and Technology* e *Waste Management*, contribuíram com uma publicação cada (8%) (**Gráfico 2**).

**Gráfico 2.** Quantidade de publicações em revistas A1 segundo Qualis Capes para Engenharias I e com fator de impacto maior que 1.5 no período de 2013-2018.

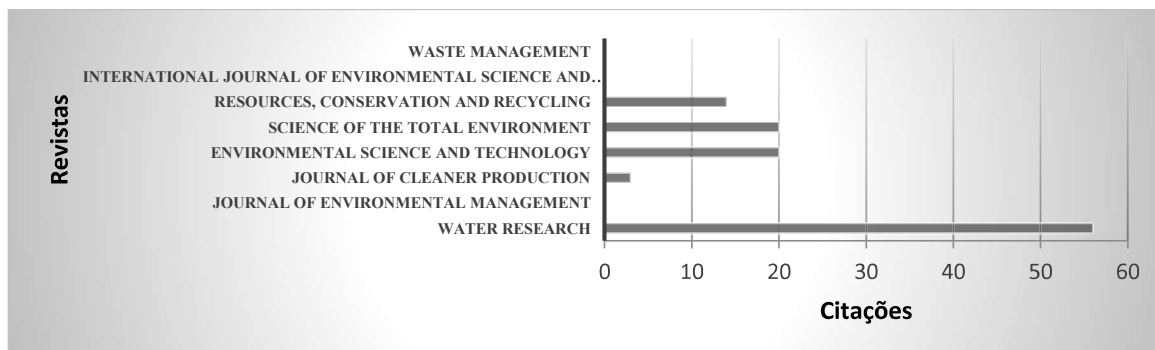


Fonte: Autoria própria, 2018.

Outro dado bibliométrico obtido foi o número de citações por trabalhos publicados nas revistas, no qual, a soma de todos os trabalhos publicados pela *Water Research* totalizaram 56 citações (**Gráfico 3**). O artigo mais citado até o início do mês de Agosto de 2018, foi “*Evaluation of new alternatives in wastewater treatment plants based on dynamic modelling and life cycle assessment (DM-LCA)*” (BISINELLA DE FARIA et al., 2015) com 23 citações, seguido pelo artigo “*Life cycle comparison of centralized wastewater treatment and urine source separation with struvite precipitation: Focus on urine nutrient management*” (BRADFORD-HARTKE et al., 2015) com 22 citações, ambos publicados pela referida revista.



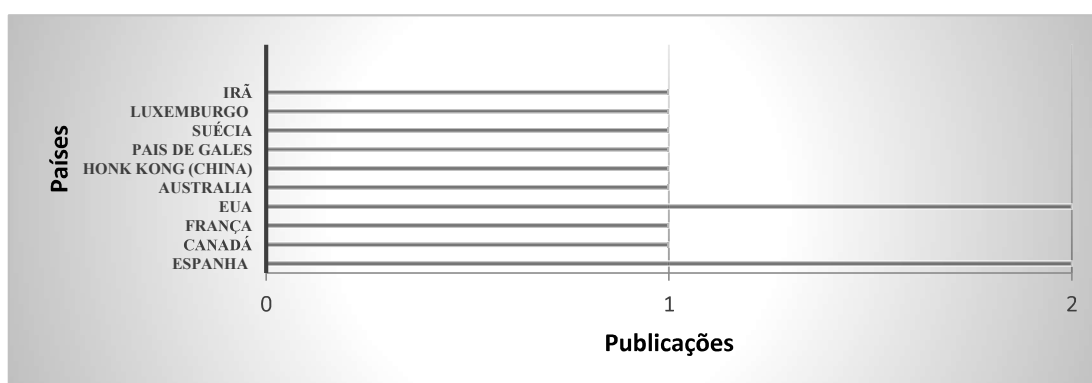
**Gráfico 3.** Número total de citações dos artigos publicados e selecionados por revistas entre os anos de 2013 a 2018.



Fonte: Autoria própria, 2018.

Em relação aos países (considerado apenas dos primeiros autores) que contribuíram com suas pesquisas durante os últimos 5 anos, os resultados mostraram um total de 12 países, no qual a Espanha e Estados Unidos tiveram maiores contribuição, com respectivas 2 publicações. Os demais países o contribuíram com apenas 1 publicação cada (**Gráfico 4**).

**Gráfico 4.** Países que publicaram artigos referentes ao tema de pesquisa deste estudo.



Fonte: Autoria própria, 2018.

O continente europeu foi o que apresentou um maior número de países que contribuíram com o número de artigos encontrados, 5 no total (42%), seguido por duas publicações de países localizados na América do Norte e continente asiático (17%), e o restante situado na Oceania com uma publicação (8%).

Novos processos devem obedecer aos princípios de sustentabilidade onde os benefícios gerados compensam os custos de implementação. A metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) regida pela ISO 14040/44, (2006) foi usada por diversos autores para comparação de desempenho ambientais em diferentes cenários para recuperação de nutrientes (IGOS et al. 2017). Em relação as pesquisas analisadas, a unidade funcional utilizada por grande parte dos autores em suas pesquisas foi 1 m<sup>3</sup> de águas residuais brutas a serem tratadas (BISINELLA DE FARIA, et al., 2015; MBAYA; DAI; CHEN, 2016; IGOS et al., 2017). O volume de urina também foi empregado como unidade funcional (ISHII;

BOYER, 2015; LANDRY; BOYER, 2016), assim como a remoção de 1 kg  $\text{PO}_4^{3-}$  eq. removido. (RODRIGUEZ-GARCIA et al., 2014), a recuperação de 1 kg de fósforo (BRADFORD-HARTKE et al., 2015), o gerenciamento 1 carga anual *per capita* de resíduos alimentares, água negra e água cinza (KJERSTADIUS et al., 2017), tratamento e eliminação de lodos de carga anual no sistema AirPrex® na ETAR Wassmannsdorf (WMD) (39.127 t TS / a) (ZHOU et al., 2018), manuseio de 1 m<sup>3</sup> de digestivo líquido (LD) de resíduos alimentares (STYLES et al., 2018) e 274 toneladas por dia de estrume animal (PEDIZZI et al., 2018).

A Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) foi aplicada em diferentes cenários, como em sistemas convencionais de águas residuárias comparados a sistemas de separação de águas negras (THIBODEAU; MONETTE; GLAUS, 2014). A ACV foi realizada em conjunto com a modelagem dinâmica (MD) em diferentes estações de águas residuárias para quantificar as vantagens energéticas e ambientais da separação de urina (BISINELLA DE FARIA et al., 2015), cenário convencional sem separação de urina em comparação com cenários com separação de urina (ISHII; BOYER, 2015; LANDRY; BOYER, 2016; MBAYA; DAI; CHEN, 2016; IGOS et al., 2017 e KJERSTADIUS et al., 2017). O perfil ambiental de diferentes tipos de tratamentos para sobrenadantes resultantes da digestão anaeróbia dos lodos gerados em estações de tratamento de esgoto (ETE) foi realizado por Rodriguez-garcia et al., (2014) aplicando a ferramenta de ACV. Bradford-Hartke et al., (2015) avaliaram em termos de demanda acumulativa de energia, potencial de aquecimento global e potencial de acidificação aplicando a ACV em diferentes tecnologias para recuperação de fósforo. PEDIZZI et al., (2018) avaliaram o desempenho ambiental de diferentes arranjos de tratamento visando à recuperação de energia e nutrientes, de uma mistura de estrumes de animais, concluindo que estratégias que buscam a recuperação de P como estruvita de alta qualidade são alternativas ambientalmente interessantes.

Ishii e Boyer (2015) quantificaram os impactos ambientais do gerenciamento do N e P da urina em diferentes cenários. Os impactos ambientais do ciclo de vida foram quantificados segundo as normas ISO 14040 (2006), considerando um sistema de tratamento centralizado sem separação de urina (Cenário A), sistemas com separação de urina e adição de óxido de magnésio (MgO) (Cenário B) para máxima recuperação de P como estruvita e adição de MgO e fosfato de sódio ( $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ) para máxima recuperação de P e N como estruvita (Cenário C). O impacto ambiental do cenário A foi relacionado principalmente pelo alto consumo de eletricidade na estação central de tratamento de águas residuais devido ao grande volume de influentes a serem tratados e ao gasto de eletricidade na estação de tratamento de água potável usada nas águas de descarga de urina. Ainda que o método de precipitação de estruvita abordado no cenário C permita recuperar elevadas quantidades de P e N como fertilizante, tem-se grandes impactos para produção de  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  e MgO, necessários para precipitação. A ACV desse estudo e os resultados correspondentes evidenciam os benefícios gerados pela economia de água em outras comunidades que exijam tratamento avançado de água para descarga de urina e a necessidade de avaliar outros métodos de recuperação de N.

O perfil ambiental de diferentes tipos de tratamentos para sobrenadantes resultantes da digestão anaeróbia dos lodos gerados em estações de tratamento de esgoto (ETE) foi realizado por Rodriguez-garcia et al., (2014), que demonstrou que as tecnologias de remoção de N, remoção autotrófica completa de nitrogênio sobre nitrito (CANON) e remoção autotrófica completa de nitrogênio sobre nitrito (NSC), apresentam menores impactos ao meio ambiente em relação ao cristalização de

estruvita (SCP). Isso ocorre devido ao alto consumo de energia elétrica pelo SCP para cada kg de P removido. Ao incluir as tecnologias individuais em uma planta de ETE foi destacado que as diferenças entre os tratamentos individuais não são relevantes quando integrados em uma ETE. Os impactos ambientais associados à ETE foram poucos reduzidos em todas as categorias avaliadas, exceto para a eutrofização, onde ocorreu uma redução considerável aplicando o processo NSC, e o de SCP e especialmente quando CANON e SCP foram combinados (RODRIGUEZ-GARCIA et al., 2014).

Um estudo sobre os impactos ambientais, economia de água doce e quantidade potenciais para recuperação de nutrientes por meio da precipitação de estruvita da separação de urina em edifícios foi realizado por Mbaya, Dai e Chen (2016). Os resultados obtidos por meio da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) que a produção líquida de estruvita em uma cidade densa e típica, pode cobrir os consumos de fertilizantes de fosfato de diamônio (DAP) em muitos países e obteve valores líquidos favoráveis de economia de água doce. Kjerstadius et al., (2017) também levou em consideração a separação aplicando a ACV para investigar a pegada de carbono e o potencial de recuperação de nutrientes em um sistema de saneamento convencional e um possível sistema de separação de fontes com aumento da recuperação de nutrientes na Suécia. Concluíram para a pegada de carbono e a recuperação de nutrientes (fósforo e nitrogênio) que o sistema de separação de fontes poderia aumentar a recuperação de nutrientes, principalmente por meio da precipitação de estruvita e remoção de amônio na estação de águas residuárias, e reduzir a pegada de carbono. Diante dos estudos apresentados tem-se que os aspectos ambientais são favoráveis na recuperação de nutrientes por meio da precipitação química de estruvita.

#### 4. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma revisão sistemática de literatura sobre aplicação da Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) em sistemas destinados a recuperação de nutrientes do saneamento via precipitação química de estruvita, com o intuito de verificar a sustentabilidade do processo. Poucos estudos foram encontrados aplicando a ACV nestes sistemas. Os resultados apresentados nos artigos selecionados demonstraram que os aspectos ambientais são favoráveis à recuperação de nutrientes. Entretanto, foi verificado uma variabilidade dos parâmetros adotados pelos autores, como nas definições de unidade funcional, limites do sistema, na escolha da metodologia de avaliação de impacto e no procedimento usado para interpretação de impacto definidos pelas normas ISO 14040 (2006) e 14044 (2006). Diante disso, torna-se evidente a necessidade de formulação de diretrizes padronizadas para garantir a qualidade da aplicação da metodologia de ACV em estudos de sistemas destinados a recuperação de nutrientes.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio do CYTED - *Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnologia para el Desarrollo* através da(s) Rede(s) UBERNERE.

#### REFERÊNCIAS

ADAMSSON, M.; BAN, Zs.; DAVE, G. Sustainable utilization of human urine in urban areas – practical experiences. In: 2<sup>nd</sup> **INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ECOLOGICAL SANITATION**, Lübeck, Germany, p. 643-650, 2003.



AFONSO, M. H. F.; SOUZA de, J. V.; ENSSLIN, S. R.; ENSSLIN, L. Como construir conhecimento sobre o tema de pesquisa? Aplicação do processo ProKnow-C na busca de literatura sobre avaliação do desenvolvimento sustentável. **RGSA – Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 5, p. 47-62, 2011.

BAITZ, M.; ALBRECHT, S.; BRAUNER, E.; BROADBENT, C.; CASTELLAN, G.; CONRATH, P.; FAVA, J.; FINKBEINER, M.; FISCHER, M.; PALMER, P. F.; KRINKE, S.; LEROY, C.; LOEBEL, O.; MCKEOWN, P.; MERSIOWSKY, I.; MOGINGER, B.; PFAADT, M.; REBITZER, G.; ROTHER, E.; RUHLAND, K.; SCHANSSEMA, A.; TIKANA, L. LCA's theory and practice: like ebony and ivory living in perfect harmony?. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 18, p.5-13, 2012.

BISINELLA DE FARIA, A. B.; SPÉRANDIO, M.; AHMADI, A.; TIRUTA-BARNA, L. Evaluation of new alternatives in wastewater treatment plants based on dynamic modelling and life cycle assessment (DM-LCA). **Water Research**, v.84, p. 99-111, 2015.

BRADFORD-HARTKE, Z.; LANE, J.; LANT, P.; LESLIE, G. Environmental Benefits and Burdens of Phosphorus Recovery from Municipal Wastewater. **Environmental Science and Technology**, v. 143, p. 288-302, 2015.

CLAUDINO, E. S.; TALAMINI, E. Análise do Ciclo de Vida (ACV) aplicada ao agronegócio - Uma revisão de literatura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, 2013.

ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R.; LACERDA, R. T. O.; TASCA, J. E. Processo de Seleção de Portfólio Bibliográfico. **Processo técnico com patente de registro pendente junto ao INPI**. Brasil, 2010.

ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R.; PACHECO, G. C. Um Estudo Sobre Segurança em Estádios de Futebol Baseado na Análise da Literatura Internacional. **Perspectivas em Ciências da Informação**, v. 17, p.71-91, 2012.

FERENHOF, H. A.; VIGNOCHI, L.; SELIG, P. M.; LEZANA, A. G. R.; CAMPOS, L. M. S. Environmental management systems in small and medium-sized enterprises: an analysis and systematic review. **Journal of Cleaner Production**, v.74, p.44-53, 2014.

FINNVEDEN, G.; MOBERG, Å. Environmental systems analysis tools – an overview. **Journal of Cleaner Production**, v. 13, n. 12, p.1165-1173, 2005.

IGOS, E.; BESSON, M.; NAVARRETE GUTIÉRREZ, T.; BISINELLA DE FARIA, A. B.; BENETTO, E.; BARNA, L.; AHMADI, A.; SPÉRANDIO, M. Assessment of environmental impacts and operational costs of the implementation of an innovative source-separated urine treatment. **Water Research**, v. 126, p. 50-59, 2017.

ISHII, S. K. L.; BOYER, T. H. Life cycle comparison of centralized wastewater treatment and urine source separation with struvite precipitation: Focus on urine nutrient management. **Water Research**, v. 79, p.88-103, 2015.

ISO (International Organisation for Standardisation), 2006. ISO 14040: **Environmental Management e Life Cycle Assessment Principles and Framework**. ISO, Geneva, Switzerland.

ISO, 2006. ISO 14044: **Environmental Managementd Life Cycle Assessmentd Requirements and Guidelines**. ISO, Geneva, Switzerland.

- KJERSTADIUS, H.; BERNSTAD SARAIVA, A.; SPÅNGBERG, J.; DAVIDSSON, Å. Carbon footprint of urban source separation for nutrient recovery. **Journal of Environmental Management**, v. 197, p.250-257, 2017.
- LANDRY, K. A.; BOYER, T. H. Life cycle assessment and costing of urine source separation: Focus on nonsteroidal anti-inflammatory drug removal. **Water Research**, v. 105, p. 487-495, 2016.
- LINDERHOLM, K.; TILLMAN, A.; MATTSSON, J. E. Life cycle assessment of phosphorus alternatives for Swedish agriculture. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 66, p.27-39, 2012.
- MATTHEWS, H. S.; HENDRICKSON, C. T.; MATTHEWS, D. H.. Life Cycle Assessment: Quantitative approaches for decisions that matter. Pittsburg, **Carnie Mellon University**, 2015, 353 p.
- MAURER, M.; SCHWEGLER, P. E.; LARSEN, T. A. Nutrients in urine: Energetic aspects of removal and recovery. **Water Science and Technology**, v. 48, p.37-46, 2003.
- MBAYA, A. M. K.; DAI, J.; CHEN, G. H. Potential benefits and environmental life cycle assessment of equipping buildings in dense cities for struvite production from source-separated human urine. **Journal of Cleaner Production**, v. 143, p.288-302, 2016.
- PEDIZZI, C.; NOYA, I.; SARLI, J.; GONZÁLEZ-GARCÍA, S.; LEMA, J. M.; MOREIRA, M. T.; CARBALLA, M. Environmental assessment of alternative treatment schemes for energy and nutrient recovery from livestock manure. **Waste Management**, v. 77, p. 276-286, 2018.
- PINHEIRO, C. M. P.; BARTH, M. Produção científica na base de dados scopus: uma análise sobre a indústria criativa. **Pesquisa Brasileira em Ciência da Informação e Biblioteconomia**, v. 9, p. 48-61, 2014.
- REINA, D. R. M.; ENSSLIN, S. R.; ENSSLIN, L.; REINA, D. Seleção e análise do perfil da produção científica sobre o tema seleção de projetos. **REGÉ**, v. 21, p. 3-25, 2014.
- STYLES, D.; ADAMS, P., THELIN; G., VANECKHAUTE, C.; CHADWICK, D. E.; WITHERS, P. J. A. Life Cycle Assessment of Biofertilizer Production and Use Compared with Conventional Liquid Digestate Management. **Environmental Science & Technology**, v. 52, p. 7468–7476, 2018.
- THIBODEAU, C.; MONETTE, F.; GLAUS, M. Comparison of development scenarios of a black water source-separation sanitation system using life cycle assessment and environmental life cycle costing. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 92, p.38-54, 2014.
- VIEGAS, C. V.; BOND, A. J.; VAZ, C. R.; BORCHARDT, M.; PEREIRA, G. M.; SELIG, P. M.; VARVAKIS, G. Critical attributes of Sustainability in Higher Education: a categorisation from literature review. **Journal of Cleaner Production**, v. 126, p.260-276, 2016.
- WILLERS, C. D.; RODRIGUES, L. B; SILVA, C. A. Avaliação do ciclo no Brasil: uma investigação nas principais bases científicas nacionais. **Produção (São Paulo)**, v. 23, p. 436-447, 2013.
- ZHOU, K.; REMY, C.; KABBE, C.; BARJENBRUCH, M. Comparative environmental life cycle assessment of phosphorus recovery with different generations of the AirPrex®systems. **International Journal of Environmental Science and Technology**, p. 1-14, 2018.