

Mapeamento Sistêmico sobre a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de Tubos de PVC

Mapping Study on the Life Cycle Assessment (LCA) of PVC Pipes

Rigley César Matias Gonçalves, Mestrando em Engenharia Civil, Universidade Federal de Catalão (UFCAT).

Rigley.matias@gmail.com

Heber Martins de Paula, Doutor em Engenharia Civil, Universidade Federal de Catalão (UFCAT).

Heberdepaula@ufcat.edu.br

Resumo

Um dos grandes resultados da COP26 foi o acordo firmado entre diversos países, incluindo o Brasil, em diminuir, até o ano de 2030, 30% da emissão de gás metano na atmosfera. Dessa forma, faz-se necessário identificar quais os encadeamentos da atividade humana que colaboram com a geração deste poluente e levantar ações que minimizem a sua liberação, para tal vem sendo realizados estudos sobre a ACV de materiais, buscando reconhecer quais os procedimentos de fabricação e utilização que permitem uma diminuição na disseminação dos gases do efeito estufa. Tendo em vista que a indústria de PVC está apresentando um crescimento acelerado no cenário mundial e que, nacionalmente, ela se sobressai na fabricação de tubos e conexões para a construção civil, esse trabalho tem como objetivo verificar a situação atual de pesquisas a respeito de ACVs de tubos de PVC por meio um mapeamento sistemático. Observou-se que esse tema ainda é pouco estudado no Brasil e, de forma geral, as principais fontes de emissão de gás metano correspondem aos processos de extração das matérias-primas, na conformação dos tubos e no transporte.

Palavras-chave: Tubos de PVC; ACV; Revisão Bibliográfica.

Abstract

One of the great results of COP26 was the agreement signed between several countries, including Brazil, to reduce, by the year 2030, 30% of the emission of methane gas into the atmosphere. In this way, it is necessary to identify which links of human activity collaborate with the generation of this pollutant and to identify actions that minimize its release. use that allow a decrease in the spread of greenhouse gases. Considering that the PVC industry is showing rapid growth on the world stage and that, nationally, it stands out in the manufacture of pipes and connections for civil construction, this work aims to verify the current situation of research on LCAs. of PVC pipes through a mapping study. It was observed that this topic is still little studied in Brazil and, in general, the main sources of methane gas emission correspond to the processes of extraction of raw materials, in the conformation of tubes and in transport.

Keywords: PVC Pipes; LCA; Literature review.

1. Introdução

De acordo com o Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases do Efeito Estufa (SEEG, 2021) no ano de 2020 os processos industriais e de utilização de materiais foram responsáveis por emitir 43 mil toneladas de metano (CH_4) na atmosfera brasileira e, quando comparado com países como China, Rússia e Estados Unidos, essa quantidade quadruplica. Tal realidade fez com que autoridades mundiais assinassem, no ano de 2021, um acordo na Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP26) garantindo a diminuição das emissões de gás metano em 30% até o ano de 2030 (FILKS *et al.* 2021).

A construção civil é considerada como uma das indústrias que mais emitem gases do efeito estufa (GEE), de forma indireta na extração de seus insumos, bem como de forma direta na execução de obras, por exemplo. Um material com destaque é o PVC (Policloreto de Vinila), um termoplástico que apresenta características amplamente variáveis em função de sua empregabilidade, fato este que o torna um elemento extremamente utilizado nos mais variados setores da economia (PIVA, 1999). Com isso, a Braskem (2021) estima para os anos entre 2020 e 2025 um crescimento de 4,5% da demanda mundial de PVC, e ainda, pontua que em 2021 a produção desse produto atingiu um total de 49 milhões de toneladas, a maior marca desde o surgimento do polímero. Dessa forma, enxerga-se que o processo de indústria/fabricação/utilização do PVC contribui com a degradação da camada de ozônio, seja na emissão de CH_4 ou outros GEE.

Uma técnica de gestão sustentável utilizada para estudar o comportamento ambiental de um material, processo industrial ou serviço ao longo de sua vida, englobando desde a aquisição da matéria-prima até a deposição final, é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), ou, em inglês, *Life Cycle Analysis* (LCA) (ABNT, 2001). Essa ferramenta é pautada por meio de modelagens computacionais do sistema produtivo industrial e utilização do produto, de acordo com parâmetros de caracterização, que quantifica as contribuições ambientais liberadas na atmosfera em cada etapa de processamento e mostra o potencial de impacto ambiental do material (MENDES; BUENO; OMETO, 2013). Com isso é possível elaborar planos estratégicos e otimizar as fases que mais contribuem com a degradação do meio ambiente.

Sabendo que, dentre suas diversas aplicações, o PVC, no Brasil, tem o seu maior destaque na fabricação de tubos e conexões para a construção civil (MONTENEGRO; VIANNA; TELES, 2020), este estudo tem por objetivo verificar o panorama atual de pesquisas que vêm sendo elaboradas a respeito da análise do ciclo de vida de tubos de PVC. Essa abordagem é justificada visto que o conhecimento das emissões vinculadas a cada etapa do ciclo de vida dos tubos de PVC permite a busca pela diminuição no lançamento dos GEE, contribuindo, assim, com o compromisso brasileiro em reduzir a disseminação do gás metano na atmosfera. A metodologia adotada apresenta comportamento exploratório, sendo caracterizada pela realização de um mapeamento sistemático (*mapping study*) para reconhecer o andamento de produções científicas em relação a temática.

2. Metodologia

A fim de identificar o andamento científico da questão abordada e revisar a literatura atual desenvolveu-se um mapeamento sistemático. Tal artifício consiste em uma busca estruturada para obtenção de artigos em fontes de dados mundialmente renomadas utilizando-se de palavras-chave e operadores lógicos (BAILEY *et al.* 2007 e PETERSEN *et al.* 2008).

Conforme recomendado por Petticrew e Roberts (2008) a respeito da execução de mapeamento sistêmico, primeiramente definiu-se indagações centrais para nortearem o desenvolvimento da pesquisa, sendo elas:

- I. Quais são as etapas do ciclo de vida dos tubos PVC?
- II. Quais os impactos gerados pelo processo de fabricação de tubos de PVC no meio ambiente?
- III. Quais as implicações que o transporte e distribuição de tubos de PVC gera na atmosfera?
- IV. Existem formas de minimizar as emissões geradas pela concepção das tubulações de PVC?

Tendo em vista os questionamentos levantados, foram utilizadas as bases de dados *Scopus* (2021) e *Web of Science* (2021), disponíveis na Universidade Federal de Catalão, visto que, de acordo com Zanghelini *et al.* (2016), esses dois bancos de dados apresentam alta incidência de acesso pela academia científica internacional e abrangem as principais revistas de publicações no ramo da ACV pelo mundo.

Dessa forma, as palavras-chave usadas na busca foram: (a) *life cycle analysis AND polyvinyl of chloride*, (b) *end-of-life AND PVC tubes* e (c) *inventory cycle analysis AND water pipeline*. Tais expressões foram adotadas de forma a englobar estudos a respeito de ACVs relacionadas com o material PVC com enfoque nas tubulações de PVC destinadas ao transporte de água. A busca de artigos foi limitada em publicações revisadas por pares e desenvolvidas entre os anos de 2000 e 2022, a fim de identificar estudos que melhor representam as condições ambientais e tecnologias da atualidade

3. Resultados

Por meio do mapeamento sistemático obteve-se em um total de 138 artigos. Com isso, foi analisado os títulos aderentes ao tema e excluídos os que destoavam do objeto de estudo, além de remover aqueles que possuíam dupla publicação. Adiante, com a leitura dos resumos, identificou-se aqueles trabalhos que realmente poderiam contribuir ao assunto aqui estudado, foram considerados artigos que agregam a pesquisa aqueles que possuíam o resumo com relação direta às questões levantadas e traziam soluções para os questionamentos. A Tabela 1 mostra o resumo quantitativo dos resultados obtidos no mapeamento sistemático realizado.

Tabela 1: Resumo quantitativo dos resultados do mapeamento sistemático.

Bases de Dados: Scopus (2021) e Web of Science (2021)	Palavras-Chave	
	1. "life cycle analysis" AND "polyvinyl of chloride"; 2. "end-of-life" AND "PVC tubes"; 3. "inventory cycle analysis" AND "water pipeline".	
	Número de Artigos	
	Inicial	Títulos Aderente
	138	112

Artigos selecionados após retirar repetições	73
Artigos selecionados após leitura do resumo	64

Fonte: elaborado pelos autores.

Os países Estados Unidos, Alemanha e Itália aparecem como as nações que mais desenvolveram estudos sobre a ACV de tubos de PVC para água fria entre os anos de 2000 e 2021, como mostrado na Figura 1.

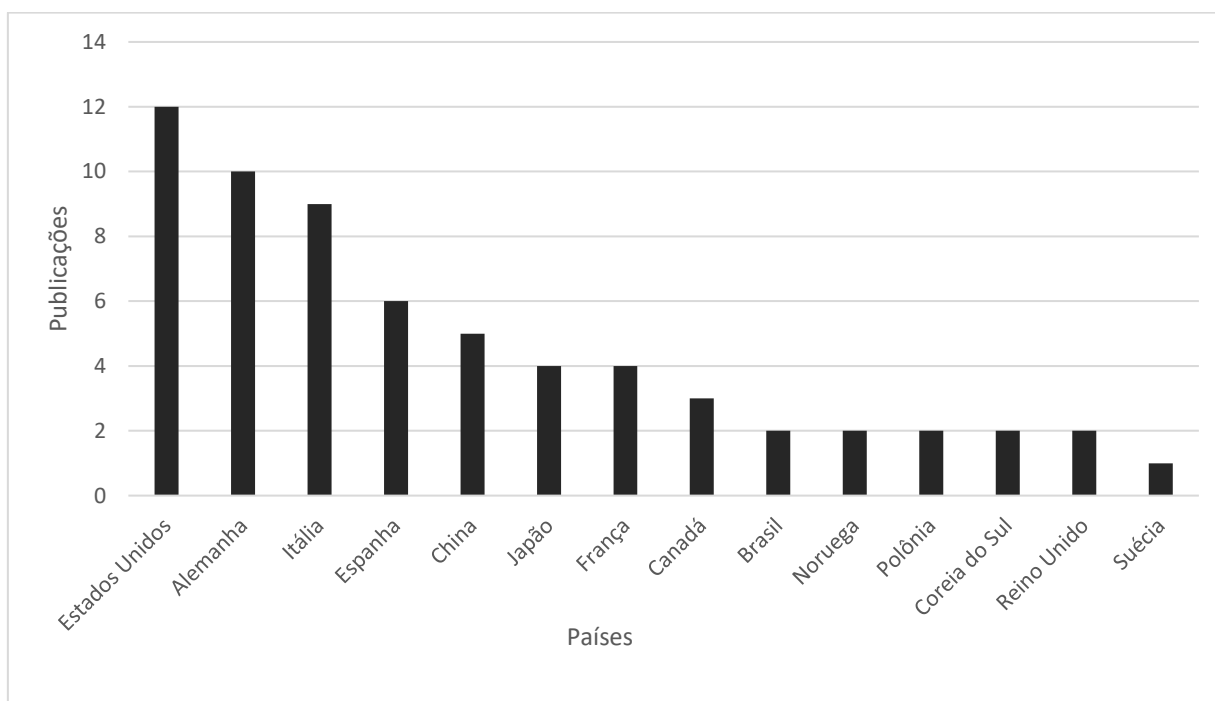


Figura 1: Total de publicações por país. Fonte: elaborado pelos autores.

O Brasil acumula somente duas publicações que se relacionam com o assunto em estudo, desenvolvidas pela Universidade Federal do Rio de Janeiro e Universidade Federal do Espírito Santo. Este cenário evidencia a lacuna de conhecimento sobre a temática no país, fomentando a necessidade de desenvolvimento de projetos que investigue a situação brasileira no tocante às contribuições climáticas da produção de tubos de PVC.

Com a finalidade de identificar quais são os estudiosos que vem contribuindo com o desenvolvimento de pesquisas e demonstram experiência consolidada nessa linha de análise, foi levantado quais são os autores citados mais de cinco vezes dentre os artigos selecionados. Na Figura 2 pode-se encontrar os pesquisadores identificados sendo que o tamanho de cada nó representa a quantidade de citações, ou seja, quanto maior o nó mais citado foi o autor e as ligações entre cada nó diz respeito a casos de cocitação entre autores.

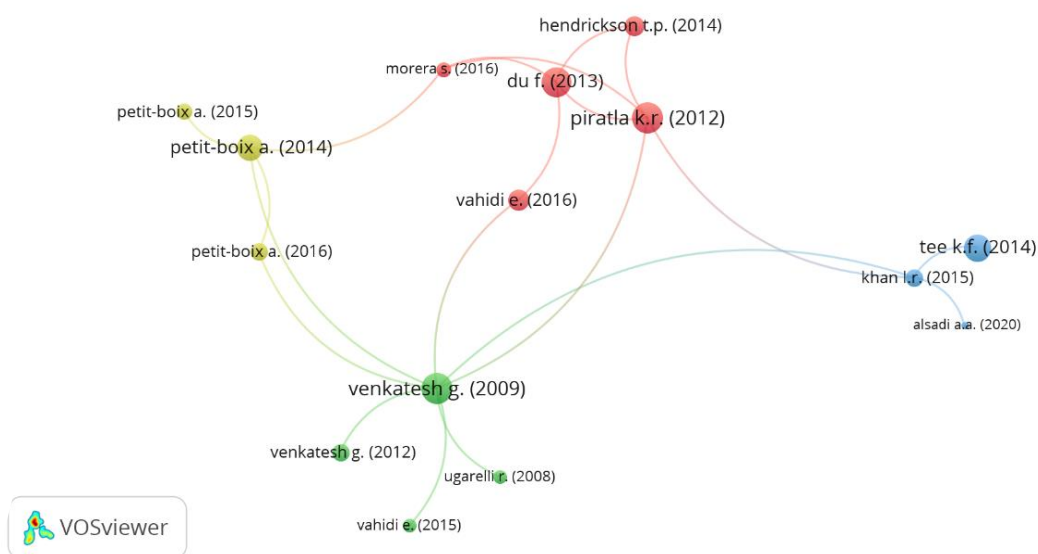


Figura 2: Autores citados cinco vezes ou mais. Fonte: elaborado pelos autores.

Como pode ser visto, Venkatesh *et al.* (2009), Du F. et al (2013), Piratla (2012), Tee (2014) e Petit-Boix (2014) são os que mais receberam citações e configuram como os pesquisadores que mais vem desenvolvendo conteúdo científico relacionados com a abordagem tratada nesta pesquisa. Vale ressaltar que a diferença de cores entre os autores está relacionada com as linhas de estudo e as relações entre um autor e outro. Ainda, cabe frisar que nenhum dos autores mencionados possui nacionalidade brasileira.

Outra análise realizada foi a identificação do meio de publicação dos artigos e a avaliação do fator de impacto (FI) dos mesmos, utilizando o *Journal Citation Report (JCR, 2022)* para a classificação. Na Figura 3 encontra-se aqueles periódicos/revistas/jornais em que houveram, no mínimo, quatro publicações dentre os 64 artigos selecionados.

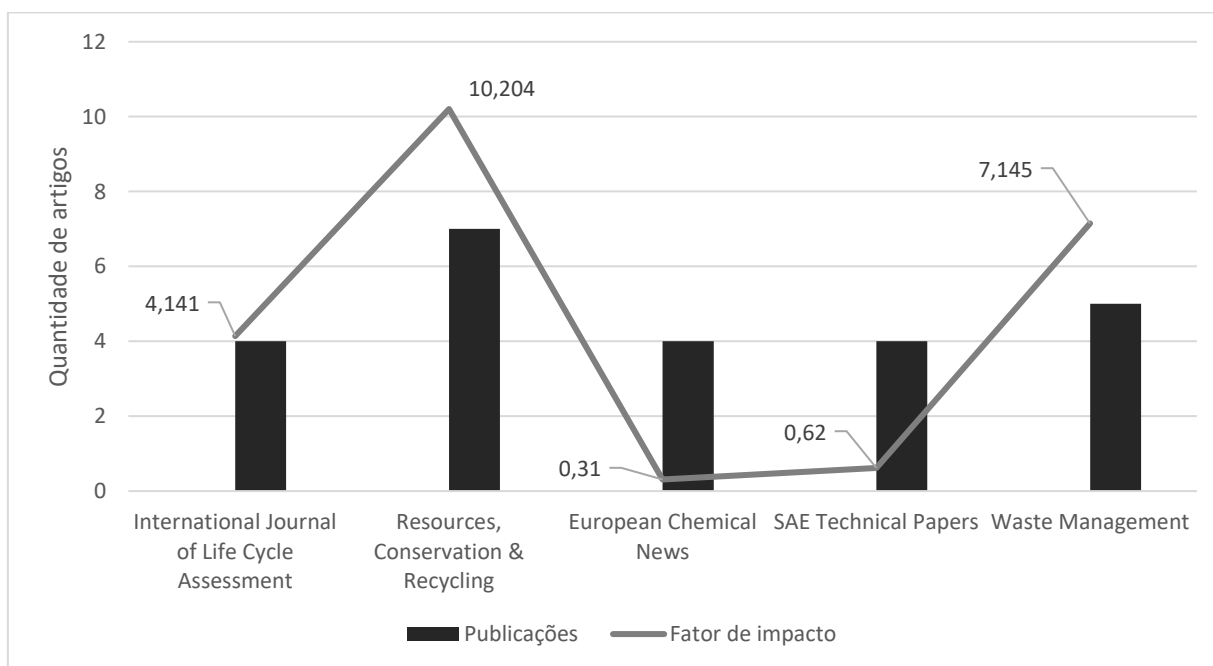


Figura 3: Locais de publicação e fator de impacto. Fonte: elaborado pelos autores.

O FI de um meio de publicação de artigos é definido pela relação entre a quantidade de artigos citados e publicados nos últimos dois anos, sendo que quanto maior o número representativo, maior a importância e renome do periódico (PINTO; ANDRADE, 1999). No ano de 2021 a revista com o melhor fator de impacto na linha de sustentabilidade na engenharia equivaleu a 12,866 (JCR, 2021), o que mostra que as publicações sobre o tema estão vinculadas a periódicos/revistas/jornais de altíssima qualidade, repercussão e importância internacional, principalmente aquelas que estão no *International Journal of Life Cycle Assessment* e *Journal Waste Management*.

Dentre os artigos selecionados foram identificadas diversas vertentes de pesquisa, conforme Figura 4, sendo as principais linhas de estudo envolvendo a etapa de reciclagem e reuso de tubos de PVC e o estudo da energia de incorporação envolvida no ciclo de vida das tubulações.

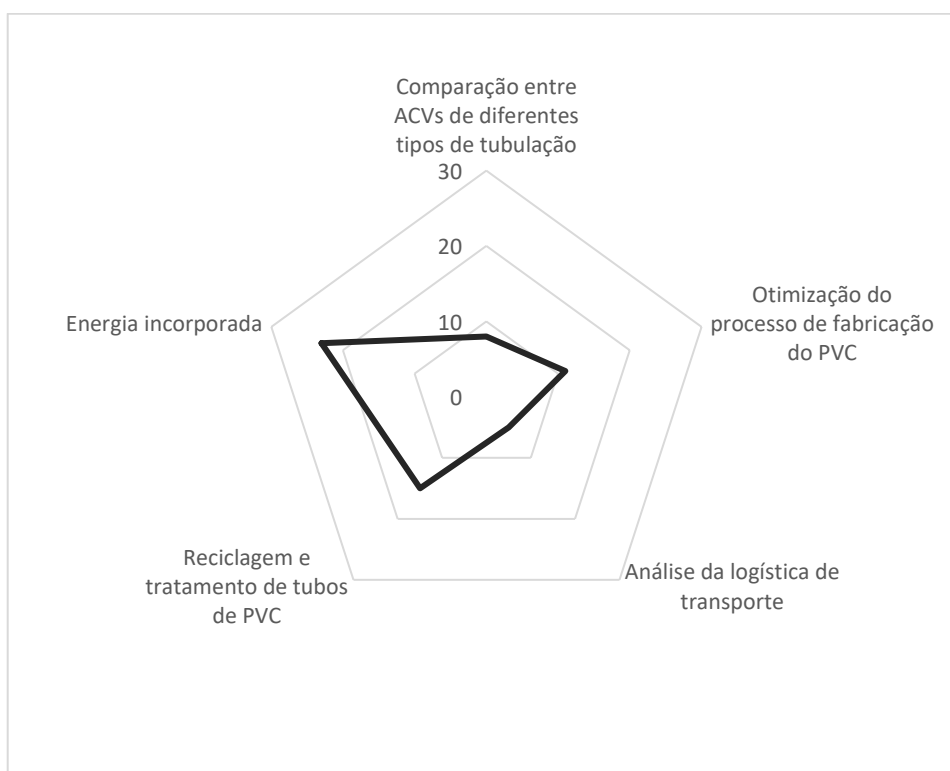


Figura 4: Principais vertentes de pesquisa identificadas. Fonte: elaborado pelos autores.

Ainda, foi avaliado a ocorrência dos termos que, não são palavras-chave, mas estão diretamente relacionados com elas. Essa análise é importante para estudos bibliométricos visto que permite a identificação de assuntos que trocam informações sobre o tema em questão (MUNIK; LIMA; COSTA, 2012), propiciando um entendimento amplo das interfaces de conhecimento interligadas ao tema em questão. A Figura 4 apresenta a rede de ocorrência de termos.

Observou-se que as pesquisas já desenvolvidas apresentam respostas para os questionamentos apresentados, sendo que para (I) tem-se um modelo de ciclo de vida bem semelhante entre todos os abordados, ficando a maioria concentrados entre a aquisição de cloro e eteno, seus processos químicos para a obtenção da resina de PVC e a conformação dos tubos e a distribuição ao destino final dos tubos. Para o segundo questionamento observa-se uma preocupação com a fase de eletrólise da água salgada, manejo do maquinário industrial e o transporte, sendo essas etapas apontadas pelas pesquisas como os processos que mais consomem energia e, conseqüentemente, geram emissões para a atmosfera. Quando tratado da questão (III), é observado que as soluções apontadas estão vinculadas diretamente com o local geográfico de estudo e os modais de transporte predominantes na região, sendo que a distribuição realizada por meio de trens, principalmente na Europa, apresentou menores taxas de emissão de GEE. A resposta para o último questionamento é ampla e variada, pois está relacionada com a disponibilidade de tecnologias e aperfeiçoamentos nos processos de fabricação, tendo destaque na utilização de equipamentos mais modernos que apresentem menores consumos de energia na extração das matérias-primas e nos processos de conformação dos tubos.

Por fim, a metodologia adotada se mostrou como uma boa opção para avaliar o estado da arte do tema aqui tratado e cumpriu com o objetivo proposto, permitindo identificar as principais publicações e autores, além de mostrar que a vertente de estudo que aborda a logística de transporte para a distribuição dos tubos de PVC ainda é pouco estudada e pode ser configurada como uma lacuna de conhecimento, principalmente no âmbito científico brasileiro.

Referências

ABNT. **NBR ISO 14040:2001**: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. Rio de Janeiro – RJ. 2001.

BAILEY, J.; BUDGEN, D.; TURNER, M; KITCHENHAM, B; BRERETON, P.; LINKMON, S. **Evidence relating to Object-Oriented software design**: A survey. In: First International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement. Computer Society, 2007, Madri. Anais. Madri: ESEM, 2007.

BRASKEM. **Relatório Integrado**. 2020. Disponível em: https://www.braskem.com.br/portal/Principal/arquivos/relatorio-anual/Braskem_RI20_20_PT.pdf. Acesso em: 12 jan. 2022.

DU F., WOODS G.J., KANG D., LANSEY K.E., ARNOLD R.G. **Life cycle analysis for water and wastewater pipe materials**. *Journal of Environmental Engineering*. Estados Unidos. 2013.

FILKS, I.; ABNETT, K.; VOLCOVICI V.; SANT'ANNA, L. COP26: Brasil assina compromisso global pela redução de emissão de gás metano em 30%. **CNN BRASIL**. 02 nov. 2021. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/internacional/paises-aderem-aopacto-de-reducao-de-emissoes-de-metano/>. Acesso em: 10 jan. 2022.

JCR. **Journal Citation Report**. Institute Scientific Information 2021.

MENDES, N. C.; BUENO, C.; OMETTO, A. R. **Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida**: revisão dos principais métodos Palavras-chave. Production, 2013.

MONTENEGRO, M.; VIANNA, M. TELES, D. B. **Atlas do Plástico: Fatos e números sobre o mundo dos polímeros sintéticos**. 1. ed. Rio de Janeiro: Fundação Heirich Böll. 2020. ISBN 978-65-87665-02-3

MUNIK, J.; LIMA, E. P.; COSTA, S. E. G. **Uma análise de citações e co-citações em estratégia de operações em serviço: um estudo das empresas de projetos**. Revista Gestão Industrial. V. 8, n. 2. 2012. DOI: 10.3895/S1808-04482012000200010

PETERSEN, K.; FELDT, R.; MUJTABA, S.; MATTSSON, M. **Systematic Mapping Studies in Software Engineering**. School of Engineering, Blekinge Institute of Technology. Universidade de Bari, Itália, 2008.

PETIT-BOIX A., ROIGÉ N., DE LA FUENTE A., PUJADAS P., GABARRELL X., RIERADEVALL J., JOSA A. Integrated Structural Analysis and Life Cycle Assessment of Equivalent Trench-Pipe Systems for Sewerage. **Water Resources Management**, 2016.

PETTICREW, M.; ROBERTS, H. **Systematic reviews in the social sciences: A practical guide**. John Wiley & Sons, 2008.

PINTO, A. C; ANDRADE, J. B. **Fator de impacto das revistas científicas: qual significado desse parâmetro?** Instituto de Química - Universidade Federal do Rio de Janeiro. 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40421999000300026> Acesso em: 13 dezembro 2021.

PIRATLA, K., ARIARATNAM, S., COHEN, A. **Estimation of CO 2 emissions from the life cycle of a potable water pipeline Project**. 2012. J. Manage. Eng., 28 (1), pp. 22-30., JMENA 0742-597X 10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000069.

PIVA A. M.; WIEBECK H. **Reciclagem mecânica do PVC: uma oportunidade de negócio**. São Paulo: Instituto do PVC, 1999.

SEEG. **Sistema de Estimativa de Emissões e Remoções de Gases do Efeito Estufa**. Brasil. Disponível em: https://plataforma.seeg.eco.br/total_emission#. Acesso em: 15 jan. 2022.

TEE, K.F., KHAN, L.R., CHEN, H.P., ALANI, A.M. **Reliability based life cycle cost optimization for underground pipeline networks**. Tunn. Undergr. Space Technol, 43, pp. 32-40. 2014.

VENKATESH, G.; HAMMERVOLD, J.; BRATTEBØ, H. **Combined MFA-LCA for analysis of wastewater pipeline networks**. J Ind Ecol, 13 (4), pp. 532-550. 2009.

ZANGHELINI, G. M. *et al.* A bibliometric overview of Brazilian LCA research. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 1997, 2016.