

1 INTRODUÇÃO

À medida em que a sociedade moderna se expande em grandes aglomerações urbanas, a demanda por estrutura pública e serviços básicos como educação, saúde, saneamento básico, moradia e renda surge com maior intensidade. Uma das principais consequências negativas nas acumulações populacionais está relacionada à precária estrutura pública de coleta e destino dos resíduos sólidos urbanos, devido a uma disputa imobiliária cada vez maior nos grandes centros. Na maioria das cidades brasileiras, sejam elas de pequeno, médio ou grande porte, os serviços de coleta e destinação de resíduos sólidos urbanos dependem de soluções que surgem a partir de políticas públicas, investimentos financeiros e ações permanentes da educação ambiental (ABDALLA e SAMPAIO, 2018).

A gestão de resíduos sólidos é, hoje, um grande desafio para o país. Segundo dados divulgados pela Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), no ano de 2018 foram gerados 79 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil. Deste montante, 72,7 milhões foram coletados, dos quais 43,3 milhões de toneladas foram destinados a aterros sanitários, e 29,4 milhões foram descartados em “lixões” (ABRELPE, 2019).

Em relação à disposição final dos resíduos coletados e seu tratamento, os avanços ainda são lentos e refletem as desigualdades das regiões do país. Em 2020, apenas 15% dos recursos, utilizados no mundo, foram provenientes de fontes renováveis (EPE, 2021). Em virtude disso, uma das metas da Agenda de Desenvolvimento Sustentável para 2030 é justamente fazer o uso eficiente dos recursos naturais, devido à voracidade com que os mesmos têm sido consumidos (ONU, 2022).

Já foi aprovado em diferentes processos de produção o encerramento de ciclos proposto pela Economia Circular. Gradativamente, os registros do uso do modelo de Economia Circular aumentam na literatura científica, o que o ajuda a se consolidar como um modelo de gestão ambiental também. Entretanto, a integração da Economia Circular como modelo para gestão de resíduos sólidos necessita da avaliação da eficiência econômica e ambiental das experiências documentadas, o que contribui para o estabelecimento de parâmetros para comparação com outras soluções de gestão (FOSTER *et al.*, 2016).

O presente trabalho tem como objetivo fazer uma revisão sistemática da literatura para identificar conceitos e modelos utilizados na Economia Circular. O foco deste trabalho é investigar a Economia Circular como estratégia de desenvolvimento sustentável e a sua aplicabilidade aos resíduos sólidos urbanos em cidades. Para o desenvolvimento da revisão sistemática, foram realizadas coletas de dados e análises dos principais estudos a nível nacional e internacional. A ferramenta de auxílio de análises utilizada foi o software StArt - LaPES, da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A Economia Circular é um modelo que possibilita repensar sobre as práticas econômicas da atual sociedade, inspirando-se no funcionamento da natureza, sendo inseparável da inovação e do design de produtos e sistemas. Inclui-se também em um quadro de desenvolvimento sustentável, tendo como base o princípio de “fechar o ciclo de vida” dos produtos, permitindo a diminuição no consumo de energia, água e insumos. Além disso, possibilita o desenvolvimento de novas vinculações entre empresas que passam a ser ao mesmo tempo fornecedoras e consumidoras de materiais que são inseridos novamente no ciclo produtivo (FUNDAÇÃO ELLEN MACARTHUR, 2013).

Segundo a Fundação Ellen MacArthur, definida em 2010 para favorecer e incentivar o crescimento e desenvolvimento da Economia Circular no mundo, essa alternativa propõe a

utilização de recursos e energias renováveis e a não geração de resíduos desde o princípio, isto é, desenvolver produtos com componentes ideais para permanecerem no ciclo, para criar assim, uma economia cíclica, regeneradora e restauradora. A Economia Circular fundamenta-se em três princípios básicos, sendo eles: 1) Preservar, aprimorar e regenerar os sistemas naturais, supervisionando o uso de recursos finitos e os fluxos dos renováveis; 2) Criar condições mais favoráveis para a circulação de produtos, componente e matérias primas em uso, preservando de forma máxima sua utilidade nos ciclos técnicos e naturais; 3) Tornar o sistema mais efetivo a partir da eliminação de resíduos e outras externalidades negativas desde o início, reduzindo as perdas sistêmicas. (FUNDAÇÃO ELLEN MACARTHUR, 2017).

3 METODOLOGIA

A revisão sistemática da literatura engloba algumas atividades definidas, que podem ser resumidas em: planejar a revisão, identificando a necessidade de uma revisão; conduzir a revisão, incluindo a seleção e qualificação dos estudos (KITCHENHAM, 2007).

Para auxiliar o processo de revisão, foi utilizado o software StArt (State of the Art through Systematic Review) do Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Software (LaPES) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), que é um programa voltado especificamente para revisões sistemáticas. Através dele é possível aceitar ou rejeitar artigos, ler resumos diretamente do *software*, gerar tabelas e gráficos.

3.1 PROCEDIMENTO

O procedimento da revisão foi delineado em seis etapas descritas a seguir.

3.1.1 Definição da questão da pesquisa

A definição de uma pergunta é o primeiro passo para a elaboração de uma revisão sistemática, devendo ser clara e objetiva, para que a investigação científica seja conduzida da melhor forma (SAMPAIO E MANCINI, 2007). Para o presente trabalho, a questão direcionada foi: “Os processos de encerramentos de ciclos envolvidos na aplicação da Economia Circular são eficazes em cidades?”

3.1.2 Termos chave da pesquisa

A partir da pergunta formulada, as palavras-chave de busca foram determinadas: “Circular Economy Framework”, “Industrial Ecology” e “Life Cycle Assessment”. O uso das palavras em inglês foi definido por haver uma maior quantidade de artigos publicados nessa língua.

As palavras-chave de busca foram geradas conforme a combinação dos termos e sinônimos utilizando AND e OR, ou através de possíveis mudanças conforme o engenho de busca. A palavra-chave completa ficou da seguinte forma: ("Circular Economy Framework" OR "Industrial Ecology" OR "Life Cycle Assessment") AND "Cities".

3.1.4 Engenhos de pesquisa

As fontes de pesquisa utilizadas para a busca dos estudos foram: “SciELO”, “Science Direct” e “Springer”. Todos os resultados foram obtidos das fontes de pesquisas selecionadas. Foram identificadas 124 publicações. Em seguida, foi extraído o arquivo RIS de cada um dos artigos, e esses arquivos foram adicionados ao *software* Start.

3.1.5 Seleção dos estudos

Foram escolhidos artigos da atualidade, com o intuito de analisar os conjuntos de práticas eficazes, observando as estratégias e as práticas mais atuais. Os critérios de inclusão foram: 1. Artigos que respondessem à questão de pesquisa; 2. Estudos que apresentassem práticas e estratégias eficazes da Economia Circular como estratégia de desenvolvimento sustentável e a sua aplicabilidade aos resíduos sólidos urbanos; 3. Estudos que relacionassem a avaliação do ciclo de vida como ferramenta da Economia Circular; 4. Estudos que apresentassem aplicação de Economia Circular em cidades. Os critérios de exclusão foram: 1. Estudos que fossem evidentemente irrelevantes à pesquisa, de acordo com a questão de investigação levantada; 2. Artigos que não estivessem no período de 2012 a de 2022; 3. Estudos que não estivessem livremente disponíveis para a consulta na web; 4. Artigos que não estivessem completos; 5. Estudos que não apresentassem resumo/abstract.

O processo foi dividido em duas fases. A primeira fase selecionou os artigos que possivelmente satisfaziam os critérios de inclusão com base na leitura do título, resumos e palavras chaves.

Na segunda fase, a leitura da introdução e da conclusão dos artigos foram feitas e os mesmos critérios de inclusão e exclusão observados na primeira fase foram utilizados para avaliar os artigos.

3.1.6 Avaliação da qualidade

Foram avaliadas a qualidade de cada publicação. A garantia de qualidade foi determinada de acordo com o rigor, credibilidade e relevância dos artigos. Os artigos foram selecionados com base nas perguntas: 1. O artigo expõe claramente seus objetivos e resultados? 2. O artigo contribui ou responde parcialmente à pergunta da pesquisa? 3. As conclusões são explícitas? 4. Os artigos estão relacionados com o tema principal?

Para cada questão, uma resposta “SIM” ou “NÃO” era dada a cada artigo. Se o artigo em análise obteve “SIM” em todas as questões, ele foi considerado relevante para a revisão. Com base nessas perguntas, 18 artigos foram para a fase de extração de dados.

3.1.7 Extração e síntese dos dados

Os resultados obtidos foram analisados, interpretados e documentados. Os artigos foram detalhados, com apresentação dos resultados, métodos e técnicas utilizadas, restando 16 artigos.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Através dos resultados da revisão sistemática da literatura, foram identificados os artigos que apresentaram modelos na literatura de Economia Circular aplicado à gestão de resíduos. Diante dos resultados, os artigos foram categorizados, individualmente ou em grupo, conforme a abordagem ou tema da pesquisa. Ao final, os modelos de Economia Circular foram agrupados por ferramentas de gestão ambiental, sendo elas: avaliação do ciclo de vida (ACV), logística reversa, ecologia industrial, ecodesign e Economia Circular. Dos 16 artigos resultantes da revisão, 3 estudos foram selecionados para maior detalhamento, identificando práticas técnicas de desempenho da Economia Circular relacionados ao tema da pesquisa.

4.1 ARTIGOS SELECIONADOS

Os estudos selecionados foram: Junqueira *et al.* (2022), Miyamoto *et al.* (2022) e Sartori *et al.* (2018)

4.1.1 Junqueira *et al.* (2022)

No estudo de Junqueira *et al.* (2022), foi utilizado a avaliação do ciclo de vida para avaliar o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos de 1 tonelada de material em Feira de Santana, Bahia, Brasil. Foram analisadas a disposição do material em aterro sanitário no cenário base de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos e opções de recuperação de recurso para o aproveitamento de material e energia nos cenários sugeridos de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos.

As maiores contribuições da demanda energética no cenário base foram da coleta e transporte, seguidas do maquinário do aterro sanitário. As maiores contribuições das emissões de gases de efeito estufa na recuperação de materiais e energia foram realizadas por meio da reciclagem, da compostagem e da digestão anaeróbia dos RSU.

Os cenários propostos com a recuperação dos recursos apresentaram potenciais de redução da demanda de energia acumulada e das emissões de gases de efeito estufa do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos.

4.1.2 Miyamoto *et al.* (2022)

Miyamoto *et al.* (2022) avaliaram a possibilidade de aplicação do conceito de simbiose industrial, do campo da ecologia industrial, no município de Diadema (SP). O estudo focou nas interações entre indústrias, os dados referentes às empresas e suas respectivas matérias-primas e dados sobre os resíduos.

Foram contabilizados 32 tipos diferentes de resíduos que podem vir a ser reaproveitados por organizações do município de Diadema, divididos nos seguintes grupos principais: metais, polímeros e resíduos diversos, que não se encaixam nas categorias anteriores. Outra forma de reaproveitamento foi através da reciclagem de resíduos de construção civil, que, depois de transformados, podem ser utilizados na construção de novas moradias.

O estudo contribui para a elaboração de políticas públicas que visem à gestão de resíduos industriais em Diadema, bem como ser um ponto de partida para o planejamento ambiental do município, e servindo de modelos para desenvolvimento de estratégias de simbiose industrial em outras regiões do Brasil.

4.1.3 Sartori *et al.* (2018)

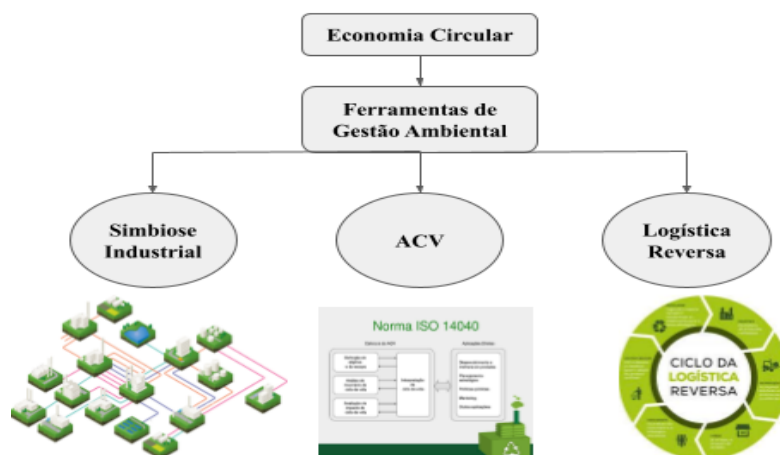
O artigo de Sartori *et al.* (2018) teve como objetivo mostrar um estudo de caso de Logística Reversa, aplicado em uma empresa de transporte urbano na região de Cuiabá, Mato Grosso. O projeto ajudou a diminuir o acúmulo dos resíduos e dar destinação para o produto pós-consumo, bem como avaliar e relatar os resultados alcançados com a implementação do novo processo. A pesquisa apresenta a importância da logística reversa dentro do conceito de Economia Circular para as empresas de transporte urbano e alguns aspectos sob o enfoque econômico, legislativo e ecológico na reciclagem de cartões de transportes de PVC.

4.1.4 Análise geral dos estudos

Os autores abordaram diferentes pilares que sustentam a Economia Circular, e que facilitam a sua implantação. Observa-se que os pilares citados na literatura, são práticas

sustentáveis que as comunidades, empresas já conhecem, ou operacionalizam. Embora os conceitos e os pilares abordados não façam referência direta à Economia Circular, essa abordagem une todos esses conceitos de forma integrada. A figura 1 representa esses pilares.

Figura 1: Ferramentas da economia circular



Fonte: a autora.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio dessa revisão de literatura, pode-se observar que a implantação do modelo de Economia Circular de forma efetiva requer mudanças culturais, e, principalmente, uma nova visão de gestão como um todo, em virtude do comprometimento com o meio ambiente e a preocupação com as externalidades causadas pelos processos produtivos.

Com relação ao conceito de Economia Circular, foi possível constatar que ele abrange diversos outros conceitos, o que torna a sua aplicação complexa e desafiadora, sendo essencial a compreensão do termo Economia Circular, seus princípios e pilares, para facilitar a sua adoção, e implantação, como um modelo econômico sustentável.

Em conclusão, a pesquisa finaliza o seu foco principal de analisar conceitos e modelos utilizados na Economia Circular como estratégia de desenvolvimento sustentável, e a sua aplicabilidade aos resíduos sólidos urbanos.

O estudo contribui com a literatura sobre a Economia Circular, também sendo possível resgatar, de diferentes artigos, de forma a detalhar o conceito e melhorar o entendimento como um todo, os diversos pilares, práticas sustentáveis, benefícios e as dificuldades na implantação de Economia Circular.

REFERÊNCIAS

ABDALLA Fernando A.; SAMPAIO Antônio C. F. “Os novos princípios e conceitos inovadores da Economia Circular”. **Entorno geográfico**. 15(2018):82-102.

ABRELPE, Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2018/2019**, 2020.

ABRELPE, Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2020/2021**, 2022.

DE PESQUISA ENERGÉTICA, EPE Empresa. Matriz energética e elétrica. 2018. **Acesso em**, v. 5, 2021.

FOSTER, Allan; ROBERTO, Samanta Souza; IGARI, Alexandre Toshio. Economia circular e resíduos sólidos: uma revisão sistemática sobre a eficiência ambiental e econômica. **Anais do Encontro Internacional Sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente**. São Paulo, 2016.

JUNQUEIRA, Henrique Santos; MEDEIROS, Diego Lima; COHIM Eduardo. Management of solid urban waste in Feira de Santana: energy demand and carbon footprint. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 27, p 125-139, 2022

KITCHENHAM, Barbara. Revisões sistemáticas de literatura em engenharia de software-uma revisão sistemática de literatura. **Information and software technology** , v. 51, n. 1, p. 7-15, 2009.

MACARTHUR, Ellen. Rumo à economia circular. **Journal of Industrial Ecology** , v. 2, n. 1, p. 23-44, 2013.

MIYAMOTO, Sara Midori; COSTA, Rosangela Calado da; CANDIANI, Giovano. Nets of industrial symbiosis: possibilities among companies in the city of Diadema (São Paulo), Brazil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 27, p. 701-713, 2022.

MUNDO, transformando nosso. a Agenda para o Desenvolvimento Sustentável. Recuperado em, v. 15, p. 24, 2016.

NO BRASIL, Uma Economia Circular. uma abordagem exploratória inicial. **EMF-Elleen Macarthur Foundation**, 2017.

SAMPAIO, Rosana Ferreira; MANCINI, Marisa Cotta. Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. **Brazilian Journal of Physical Therapy**, v. 11, p. 83-89, 2007.

SARTORI, Lara L.; de Oliveira, R.; de Siqueira, R. N.; Moraes, Botelho; M. P., Rihbane, F. E.; de Souza, B.V. Economia circular: aplicação da logística reversa na reciclagem de cartões de transportes urbanos na região da grande Cuiabá do estado de Mato Grosso. **Brazilian Journal of Development**. 2019 7;5(6):6445-59.