

ECONOMIA CIRCULAR E GESTÃO DE RESÍDUOS: UMA ANÁLISE DO POTÊNCIAL DE DIGITALIZAÇÃO

Carolina do Val Bugelli¹, Gabriela Scur³,
^{1,3} Departamento de Engenharia de Produção, FEI
gabriela@fei.edu.br

Resumo: O artigo apresenta os principais desafios de gestão de resíduos sólidos nas cidades que seguem uma economia mais linear e explora possíveis caminhos para as cidades inteligentes a partir de práticas da economia circular através do processo da digitalização. Para isso, foi criado um *framework* teórico para direcionamento os *stakeholders* com as principais tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 a serem aplicadas para um desenvolvimento de cidades inteligentes com um crescimento sustentável: primeiro reciclagem e energia do resíduo, depois a aplicação de *big data*, com um *IoT* de ciclo de vida, parques industriais ecológicos e o papel do governo.

1. Introdução

O termo “cidades inteligentes” é abrangente e não bem delimitado na literatura, ele acaba sendo atrelado ao papel da Indústria 4.0 como principal suporte para sua implementação. *Smart cities* se tornaram soluções necessárias devido à rápida urbanização. O êxodo rural impôs desafios ao meio ambiente sobretudo no que tange à gestão dos resíduos sólidos [1]. A economia circular é uma resposta ao desafio da gestão do resíduo sólido e a Indústria 4.0 pode ser uma facilitadora para as práticas de uma cidade urbana sustentável, uma vez que ela se pauta na redução de consumo e recuperação do resíduo no sistema produtivo. A tecnologia de *IoT* pode impulsionar o desenvolvimento das práticas circulares por conta da sua interconectividade e as outras tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 podem alavancar a integração dos sistemas, sendo elas, sistemas ciberfísicos, *big data*, manufatura aditiva, *cloud computing*, e realidade aumentada.

O objetivo desta pesquisa é compreender como as tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 podem melhorar a gestão de resíduos desde a sua coleta até disposição final, à luz do conceito da Economia Circular.

2. Metodologia

Por este propósito, a pesquisa teve como método a análise sistemática da literatura com o uso de bibliometria. Antes da bibliometria em si, a autora leu alguns textos previamente selecionados para a familiarização com o tema. A partir da leitura desses artigos foi feito um *brainstorm* para seleção de palavras chaves para o estudo bibliométrico.

As palavras-chaves foram inseridas na plataforma *Scopus*, extraído os dados dos artigos que continham as mesmas palavras-chaves. Num primeiro momento o próprio relatório do *Scopus* foi analisado. Em seguida, os dados foram inseridos no *software Vosviewer* para criação os mapas dos principais clusters de

pesquisadores, artigos mais relevantes, linhas teóricas mais sólidas e aceitas. A partir dos pesquisadores com mais artigos publicados, pesquisadores mais citados, artigos mais citados, data de publicação e país de publicação foi feita uma pré-seleção de artigos. Dos artigos separados, foi lido o resumo deles e separado de maneira manual os que tinham uma correlação com o estudo.

3. Resultados

Foi feita uma análise de palavras-chave mais pertinentes ao tema estudado. Foi usada a base de dados *Scopus*, executando a simulação de *wildcards* com a combinação das seguintes palavras chaves: “*circular econom**” AND “*waste management*” AND “*digital*” OR “*sustainab**” OR “*industry 4.0*”. Assim, foi obtido um resultado de 1291 artigos. Os resultados foram exportados para o *Vosviewer* para encontrar os clusters de artigos mais relevantes. Após a análise da bibliografia obtida pelo *Scopus*, é visto que apesar do alto volume de dados, não apareciam temas de economia circular aplicada pela Indústria 4.0. Sendo assim, foi feita uma nova pesquisa bibliométrica no *Scopus* com os seguintes *wildcards*: “*circular economy*” AND “*industry 4.0*” AND “*digital*” and *sustainab**” que atingiu 55 documentos (Figura 1). Nesta etapa buscou-se os autores, revistas e países mais relevantes para o estudo. Na segunda foram selecionados os artigos mais recentes e condizentes com o tema inicial.

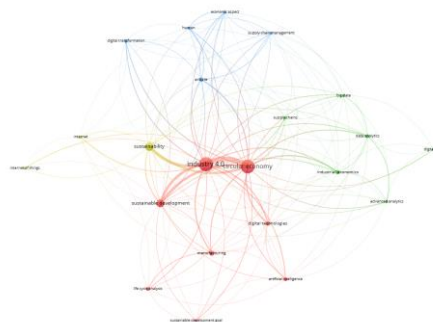


Figura 1 – Mapa das palavras chaves mais recorrentes na pesquisa

Ao final foram selecionados treze artigos, os quais foram lidos na íntegra para a elaboração do *framework*. Os artigos selecionavam das práticas de países em desenvolvimento e desenvolvidos e suas consequências na micro e macroesfera, estudo de práticas eficientes para impulsionar a economia circular através da digitalização e estudo da aplicação da economia circular por meio da Indústria 4.0. Encontrou-se que a reciclagem e o uso da energia do resíduo sólido como fonte de energia são processos circulares mas não seguem a base da sustentabilidade, pois através deles

não se reduz a quantidade de matéria consumida e perde-se parte da qualidade do material quando ele é retornado para o processo [1]. Entretanto, esses dois processos são necessários no curto prazo para a diminuição de resíduo gerado e para práticas de conscientização popular.

Para o longo prazo, a Indústria 4.0 tem um papel vital ao processo, pois através da tecnologia *RFID* aplicada nos resíduos descartados é possível obter um volume de dados sobre o status e monitoramento em tempo real do resíduos [2], e assim, o alto volume de informação, ou seja, o *big data* é usado em sistemas inteligentes de avaliação do ciclo de vida dos materiais, afim de informar qualidade, comportamento dos resíduos e disponibilidade de material a serem reaproveitados [3].

Através da *IoT* de avaliação de ciclo de vida, é possível selecionar os materiais de modo a expandir ao máximo seu ciclo de vida. Paralelamente, deve-se adotar produtos que utilizam conceitos como o *redesign*, cujos produtos são desenvolvidos a partir de princípios circulares de modo a facilitar o reaproveitamento ao máximo do material [4]. Para um uso eficiente dos resíduos sólidos é incentivada a simbiose industrial com vistas a criar uma rede de compartilhamento de resíduos sólidos e *trade-waste*[5]. Desta forma, é possível facilitar a logística reversa e os reprocessos são feitos de maneira eficiente e os custos de armazenagem e transporte diminuem [6].

Todo o processo deve ser acompanhado de uma pressão governamental (*enforcement*) para acelerar a transição, viabilizar economicamente as mudanças e criar ações de conscientização da população para incentivo ao novo sistema econômico[7].

A partir dessas análises foi elaborado um *framework* teórico que indica algumas diretrizes aos *stakeholders* a partir da proposição de atividades a serem implementadas (Figura 2), com intuito de criar um cidade inteligente utilizando com princípios circulares.

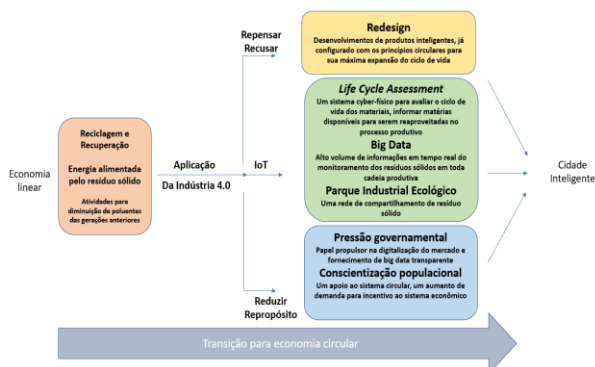


Figura 2 - Diretriz para a transição para cidade inteligente

4. Conclusões

A pesquisa permitiu a elaboração de um *framework* com recomendações de digitalização para uma cidade inteligente. O estudo foi direcionado principalmente para países em desenvolvimento, onde a etapa da

reciclagem não demandaria tanto investimento como a implantação de novas tecnologias. À medida que a prática fosse difundida e houvesse uma movimentação do mercado e de demanda, o país, então, se prepararia economicamente para aquisição e implementação de equipamentos para usar o resíduo como fonte de energia. Assim, a aplicação de monitoramento dos resíduos juntamente ao apoio da esfera privada e por meio de uma pressão governamental coerciva aceleraria o desenvolvimento das cidades inteligentes.

5. Referências

- [1] GARCIA-MUIÑA, Fernando et al. **Industry 4.0-based dynamic Social Organizational Life Cycle Assessment to target the social circular economy in manufacturing.** Journal of Cleaner Production, 2021.
- [2] TURNER, Chris. OYEKAN, John. STERGIOLAS, Lampros. **Distributed manufacturing: A new digital framework for sustainable modular construction.** Sustainability (Switzerland), 2021
- [3] LANGLEY, David. **Digital Product-Service Systems: The Role of Data in the Transition to Servitization Business Models.** Sustainability (Switzerland), 2022.
- [4] GARCIA-MUIÑA, Fernando et al. **Identifying the equilibrium point between sustainability goals and circular economy practices in an Industry 4.0 manufacturing context using eco-design.** Social Sciences, 2019.
- [5] GHISELLINI, Patrizia. CIALANI, Catia. ULGIATI, Sergio. **A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems.** Journal of Cleaner Production, 2016.
- [6] BIWEI, Su et al. **A review of the circular economy in China: Moving from rhetoric to implementation.** Journal of Cleaner Production, 2013.
- [7] BAG, Surajit et al. **Role of institutional pressures and resources in the adoption of big data analytics powered artificial intelligence, sustainable manufacturing practices and circular economy capabilities.** Technological Forecasting and Social Change, 2021.

Agradecimentos

À instituição FEI e ao CNPQ pelo apoio ao estudo, disponibilidade das bases e *softwares* de pesquisa.

¹ Aluno de IC do CNPq . Projeto com vigência de 10/2021 a 09/2022.