ANÁLISE DE UM CONJUNTO DE INDICADORES PARA CIDADES CIRCULARES

Douglas P. M. Santiago[1] (IC), Flavia T. F. Moraes (PG)[1], Renato da S. Lima (PQ)[1]
[1]*Universidade Federal de Itajubá.*

Palavras-chave: Economia circular. Desenvolvimento sustentável. Análise de dados.

Introdução

Os princípios apresentados da economia circular (EC) não se limitam somente para empresas e instituições, mas podem ser desenvolvidos e ampliados para cidades, pois elas são centros de inovações e tecnologia, consumo de recursos e produção de resíduos, possuindo uma vasta quantidade de oportunidades e informações (EMF, 2019). Entretanto, os estudos sobre cidades circulares (CCs) são recentes na literatura e focam principalmente em cidades europeias (Ribeiro; Moraes e Lima, 2023). Diante da necessidade de alternativas ao modelo tradicional de economia linear surgiu a ideia da EC para as cidades se desenvolverem de modo sustentável (Ferreira e Nerini, 2019).

A compreensão dos indicadores para circularidade permite avaliar o impacto causado pelas iniciativas de Economia Circular, a tomada de decisões com embasamento em métricas e a avaliação do progresso da circularidade, bem como comparações e *benchmarking* entre cidades.

O presente trabalho visa estudar e indentificar indicadores, além de buscar as principais categorias e métricas relacionadas à circularidade. Com isso, é possível analisar quais os indicadores que podem contribuir para o desenvolvimento das CCs.

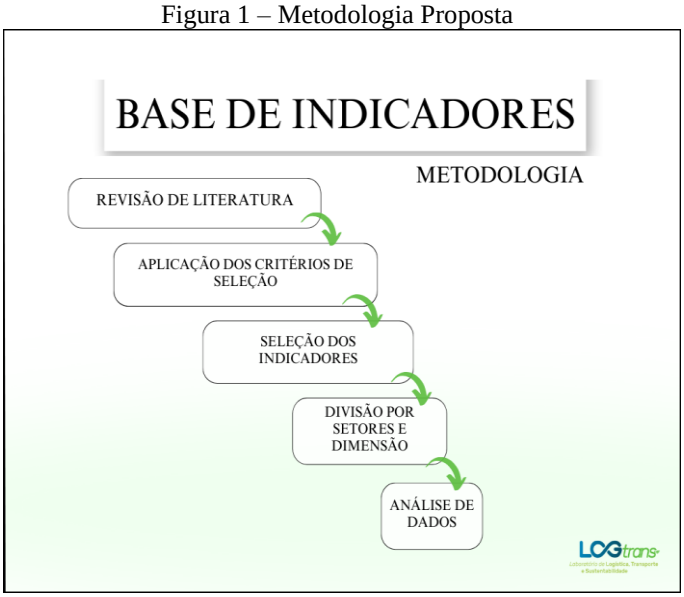
Deste modo, além do potencial teórico, o trabalho oferece uma informação prática sobre indicadores circulares para gestores, reforçando o compromisso com um desenvolvimento urbano sustentável. Para a realização da pesquisa, ocorreu uma análise interativa com uma base de indicadores, para obter repetições, informações e particularidades sobre seu uso.

Por fim, com a análise dos indicadores, o trabalho contribui com governos locais e a população, de forma a obter uma orientação estratégica para medir o impacto da circularidade em seu território.

Metodologia

O trabalho foi elaborado a partir de uma base de indicadores obtida através de uma revisão sistemática de literatura durante o projeto de doutorado intitulado "Economia Circular: Uma ferramenta de apoio ao desenvolvimento circular sustentável nas áreas urbanas". A imagem abaixo retrata os passos para seleção da base de indicadores utilizada nesse trabalho.

Figura 1 – Metodologia Proposta



Fonte: O autor (2024)

A primeira etapa para a seleção dos indicadores foi a busca por artigos nas bases de dados *Scopus* e *Web of Science* (WoS). A pesquisa utilizou as seguintes combinações de palavras-chave: (*"Urban Circularity" or "Circular Urban Areas" or "Circular City" or "Circular Urban Metabolism"*) e (*"Indicator" or "Assessment"*). Tal pesquisa foi conduzida em março de 2023.

Com o intuito de filtrar os estudos, foram considerados os trabalhos publicados a partir de 2014, em formato de artigo, em inglês e em revistas científicas. Foram encontrados 382 documentos na base *Scopus* e 476 na WoS. Na *Scopus*, foram selecionadas as áreas de Ciências Ambientais, Engenharia, Ciência da Computação e Decisão, enquanto na WoS foram incluídas Ciências Ambientais, Tecnologia Sustentável Verde, Estudos Urbanos, Planejamento Urbano e Regional e Ciência da Computação.

Após aplicar os filtros, 191 artigos foram selecionados na *Scopus* e 278 na WoS. Foram removidas 28 duplicatas e realizada a leitura dos títulos e resumos até atingir 93 artigos escolhidos para leitura completa. Para a análise final, apenas 47 artigos que apresentavam um conjunto de

indicadores foram considerados. Apesar do fato de muitos artigos apresentarem discussões interessantes sobre o monitoramento da EC em áreas urbanas, para a análise e seleção dos indicadores foram considerados apenas artigos que apresentaram um conjunto de indicadores e não apenas discussões sobre o tema. Diante disso, foram selecionados os artigos que estavam relacionados às CCs e realizada uma listagem de indicadores (base de indicadores).

A partir desta etapa iniciou-se o presente trabalho de iniciação científica. Primeiramente, os indicadores foram organizados em uma planilha no *software Microsoft Excel*, uma vez que este oferece ferramentas robustas para análise de dados, como gráficos, tabelas dinâmicas, filtros e fórmulas. Os indicadores coletados foram inseridos na planilha, facilitando a classificação e a subsequente análise.

Após a inserção dos indicadores na base de dados, foi realizada uma etapa de classificação. Os indicadores foram classificados em setores e dimensões. A classificação dos indicadores foi feita utilizando as funcionalidades do *Excel*, como filtros e formatação condicional, para assegurar que cada dado estivesse corretamente classificado.

Com a base de dados devidamente classificada, foi realizada uma análise utilizando tabelas dinâmicas. Tais tabelas são uma ferramenta do *Excel* que permitem a visualização de grandes quantidades de dados de maneira resumida, facilitando a extração dos dados mais relevantes. Nesta etapa, foram criadas várias tabelas dinâmicas, cada uma focada em critérios específicos, com o objetivo de agrupar os dados e identificar suas características, a fim de tratar os dados. Através das tabelas dinâmicas, foi possível realizar cruzamentos de vários critérios e classificações da base de dados. As informações mais significativas obtidas a partir dessa análise foram extraídas e serão discutidas em detalhes no item de Resultados e discussão.

Desta forma, essa metodologia possibilitou a análise dos dados coletados e permitiu entender e analisar como vem sendo medida aspectos relacionados à circularidade urbana. A utilização das tabelas dinâmicas do *Excel* foi eficaz para o tratamento de dados e a interpretação dos indicadores.

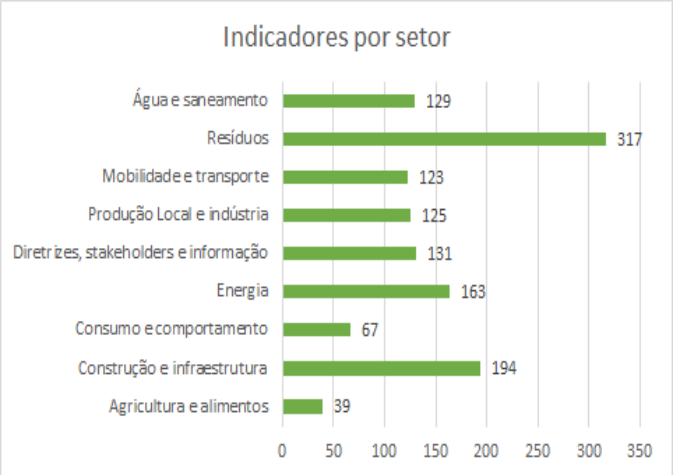
Resultados e discussão

Com base na revisão da literatura e análise de diversos Planos de EC e iniciativas circulares de cidades consideradas referências no processo de transição circular, foram propostos os seguintes setores de circularidade: Resíduos; Consumo; Energia; Mobilidade e Transporte; Agricultura e Alimentos; Produção local e Indústria, Água e Saneamento, Energia, Construção e ambiente construído e Diretrizes, Stakeholders e Informação (Ribeiro, Moraes e Lima, 2023).

Para melhor entender e compreender como estão sendo medidos os impactos da EC para a sustentabilidade, foram adicionadas mais três classificações na análise dos indicadores. Estas categorias foram nomeadas dimensões, e se compõem em: ambientais (que incluiu os indicadores que mensuram os impactos ambientais relacionados a EC), indicadores sociais (mensuram as consequências sociais) e indicadores econômicos (mensuram os resultados econômicos).

Após o primeiro passo de coleta de indicadores e classificação em setores e dimensão dos 2104 indicadores selecionados, a análise e interpretação de sua medição em CCs foi desenvolvida no aplicativo *Microsoft Excel*. Foi realizada uma análise detalhada por cada tipo de classificação, com o intuito de aprofundar na análise dos dados. Abaixo está uma visão geral da classificação realizada:

Figura 2 – Indicadores classificados em setores



Fonte: O autor (2024)

Em primeiro lugar, cabe analisar o setor de agricultura e alimentação, que conta com 39 indicadores, sendo o indicador "Desperdício de alimentos" mais repetido. O segundo setor é o de Construção e Ambiente Construído, que abrigou 194 indicadores. O indicador mais repetido do setor é a porcentagem de edifícios degradados, que se repete apenas três vezes. Para o setor de Consumo e Comportamento, é possível dizer que foram alocados 67 indicadores. O indicador mais frequente no setor é o de Taxa de uso de material circular.

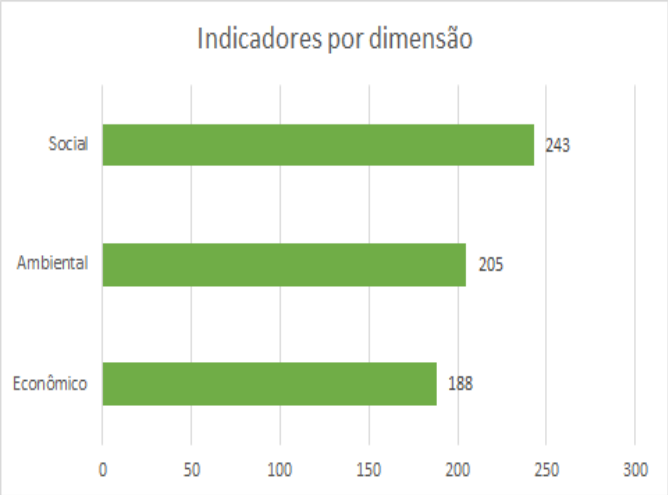
Na sequência, está o setor de Energia com 163 indicadores selecionados. O item mais citado pelos autores é o de "Consumo de Energia". Outro setor, é o de Diretrizes, *stakeholders* e informações, que conta com 131 indicadores. O indicador mais repetido do setor é o "Compras públicas sustentáveis" com 4 repetições. O

próximo setor da lista é o de Produção Local e Indústria, com 125 indicadores. Vale mencionar no setor o autor Girard, L. F. e Nocca, F. (2019), com 27 indicadores. O indicador "Taxa de uso de material circular" é o mais citado. Para continuar, com 123 indicadores, está o setor de Mobilidade e Transporte. O indicador "Uso de transporte público" é o mais frequente no item.

Ademais, no setor de Resíduos foram alocados 317 indicadores, notoriamente um importante setor para Cidades Circulares. São os mais variados indicadores e autores neste setor, com uma ampla variedade. O indicador "Taxa de reciclagem de resíduos municipais" é o mais citado neste setor. O último setor é o de Água e Saneamento, com 129 indicadores. O indicador mais citado é o "Consumo de água".

Vale ressaltar que Paoli, Pirlone e Spadaro (2022) contribuíram com uma quantidade significativa de indicadores tanto nos setores, quanto nas dimensões, as quais estão presentes na figura 3.

Figura 3 – Indicadores classificados em dimensões



Fonte: O autor (2024)

Além dos setores, os indicadores excedentes foram classificados nas dimensões: Social, econômica e ambiental. Em primeiro ponto foram selecionados 243 indicadores na dimensão Social. O indicador que mais se repete nesta dimensão é a "Taxa de desemprego", com sete aparições.

A segunda dimensão, a econômico, conta com 188 indicadores selecionados. É uma seção muito importante para a gestão de cidades circulares, por isso conta com uma grande variedade de indicadores diferentes. O indicador mais repetido é o de "Consumo de energia per capita", com apenas seis repetições. Por fim, a última dimensão, a ambiental conta com 205 indicadores em sua análise. O indicador mais repetido na dimensão é o "Emissão de CO_2", com quatro incidências.

Conclusões

A análise exposta nos resultados deste trabalho oferece uma visão ampla sobre os principais indicadores de cidades circulares, permitindo identificar padrões, repetições, autores mais influentes e indicadores mais frequentes nas pesquisas. Esses *insights* são fundamentais para o avanço da literatura na questão das CCs, servindo como uma base para futuras pesquisas que explorem as cidades de países em desenvolvimento.

O presente relatório demonstra e reforça a importância de focar em novos estudos sobre CCs para além da Europa e das regiões mais desenvolvidas. O estudo encontrou poucos autores que analisam indicadores no Brasil, o que pode ser uma sugestão para futuros trabalhos, que estudem e avaliem quais dos indicadores podem efetivamente serem adaptados ou utilizados na realidade brasileira. A concentração das pesquisas e trabalhos em cidades mais desenvolvidas, especialmente na Europa, limita o entendimento de como os princípios de circularidade podem ser adaptados e implementados em países em desenvolvimento, como o Brasil, onde os desafios são maiores.

Ademais, as CCs, que buscam implementar uma economia baseada na sustentabilidade, enfrentam desafios consideráveis na medição de seus indicadores. Muitos desses indicadores envolvem dados complexos. A coleta e a análise desses dados demandam tecnologia avançada, além de colaboração entre diferentes setores e *stakeholders*. Diante disso, os resultados deste trabalho apresentam uma solução, principalmente para a falta de padronização dos dados, fornecendo informações para contribuição com os planos de CCs.

Além disso, ao utilizar uma análise dinâmica através do *Microsoft Excel*, foi possível compreender de forma mais detalhada a aplicação da base de indicadores nas diferentes dimensões e setores estudados, o que permite uma visualização de como esses indicadores são utilizados e quais são mais recorrentes em determinados setores. Essa abordagem mais prática não só facilita a compreensão e análise dos indicadores, mas também oferece uma ferramenta para gestores, que podem utilizá-la para orientar a transição para CCs em suas respectivas áreas.

Ao realizar uma análise detalhada dos indicadores de CCs, se alimenta uma base para o desenvolvimento de novas pesquisas e políticas públicas que possam apoiar o desenvolvimento sustentável em diferentes cidades. Dessa forma, o trabalho não apenas fortalece o compromisso com o desenvolvimento urbano sustentável, mas também coloca uma visão mais adaptável para cidades circulares, capaz de atender às necessidades de cidades em todo o mundo.

Por fim, conclui-se que a pesquisa se mostra essencial para o desenvolvimento dos envolvidos acerca dos conceitos de Economia Circular, Cidades Circulares e seus indicadores. Entretanto, ainda é necessário desenvolver estudos futuros para estudar a viabilidade da implantação desses indicadores em cidades brasileiras, além de como estes indicadores seriam monitorados. Esses conceitos estão diretamente relacionados com a sustentabilidade urbana e o progresso. O estudo dos indicadores dos variados setores e dimensões apresenta como será a transição para CC no futuro ao redor do mundo e no Brasil.

Agradecimentos

Agradeço a Fapemig pela bolsa concedida que subsidiou e permitiu o desenvolvimento deste trabalho.

Referências

Ferreira, A. C.; Fuso-Nerini, F. A framework for implementing and tracking circular economy in cities: The case of Porto. **Sustainability**, v. 11, n. 6, p. 1813, 2019.

Ellen Macarthur foundation - EMF. **Circular Economy in Cities**. 2019. Disponível em: < https://www.ellenmacarthurfoundation.org/our-work/activities/circular-economy-in-cities > Acesso em: 19 set. 2024.

Girard, L.F.; Nocca, F. Moving Towards the Circular Economy/City Model: Which Tools for Operationalizing This Model?. **Sustainability**, v. 11, n. 22, p. 6253, 2019.

Paoli, F.; Pirlone, F.; Spadaro, I. Indicators for the Circular City: A Review and a Proposal. **Sustainability**, v. 14, p. 11848, 2022. DOI 10.3390/su141911848.

Ribeiro, A. J.; Ferreira, F., M.; Lima, R. (2023). Cidades circulares: uma análise das iniciativas de economia circular em cidades europeias. 10.14488/**ENEGEP**2023_TN_ST_407_2007_45457.

Ribeiro, A. J.; Ferreira, M., F.; Lima, R. (2023). Transição para cidades circulares: um estudo inicial sobre economia circular na cidade de São Paulo. **Revista dos Trabalhos de Iniciação Científica**. 10.29327/1307153.1-28.