

CIDADES CIRCULARES INTELIGENTES uma jornada em rota

ENIDO FABIANO DE RAMOS
FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS

IEDA KANASHIRO MAKIYA

Introdução

A parcela da população vivendo nas cidades continua a crescer, estimado em 80% até 2050, segundo o banco Mundial. Para contribuir neste gerenciamento o presente estudo conecta constructos relevantes de cidades inteligentes (CI) e economia circular (EC), potencializando seus objetivos-fim, com a entrega de um roteiro prático para avaliação ou implantação de Cidades Circulares Inteligentes, potencializando seus níveis da qualidade de vida, reduzindo o tempo das tomadas de decisões executivas locais e transparência aos cidadãos, não deixando ninguém para trás.

Problema de Pesquisa e Objetivo

Problema de Pesquisa: Como melhorar a gerenciamento das cidades conectando Cidades Inteligentes e Economia Circular? Objetivos: Criação de roteiro prático de indicadores para gerenciamento de Cidades Circulares Inteligentes, partindo de revisão bibliométrica transacionada à construtos de instituições referências nos temas (variáveis). Discutir caminhos e dificuldades do tema, Avaliação de convergência e complementariedade dos temas.

Fundamentação Teórica

Konietzko et al. (2020) aponta áreas estratégicas de implementação do modelo circular em cidades, destacando a falta de indicadores em alguns setores e identificando um possível quadro para avaliação do metabolismo urbano fechado a partir de uma perspectiva de ciclo de vida. De acordo com Aceleanu, Serban, Suciú e Bitoiu (2019), uma economia circular é um fator importante para desenvolver as cidades inteligentes, que podem ser entendidas como cidades sustentáveis, com bom desempenho em economia e governança, também em meio ambiente e qualidade de vida.

Metodologia

Revisão bibliométrica e análise de conteúdo

Análise dos Resultados

O estudo aponta um caminho para avaliar ou implantar uma Cidade Circular Inteligente sendo possível se guiar e priorizar 10 constructos: Governança e Competitividade, Educação, Produção e Consumo, Gerenciamento de Resíduos, Matérias-primas secundárias, Emprego e Renda, Segurança, Saúde e bem-estar, Inovação e Conectividade, Sustentabilidade, convergindo com os estudos e instituições de fomento e prática das variáveis, com excelência, vida melhor e sustentabilidade ambiental.

Conclusão

As estratégias circulares das cidades inteligentes podem despontar como fortes contribuintes no alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 das Nações Unidas, em especial: ODS11 (sobre cidades seguras, inclusivas, resilientes e sustentáveis) e ODS12 (sobre produção e consumo sustentável). Os principais desafios para o futuro da economia circular se referem ao desenvolvimento dos setores associados à circularidade dos recursos, no envolvimento ativo dos setores público e privado, podendo ser gerido em esfera municipal, conectando população à excelência e inclusão.

Referências Bibliográficas

Braungart, M., & McDonough, W. (2009). *Cradle to cradle: Re-making the way we make things*. London: Vintage. Chauhan, A., Jakhar, S. K., & Chauhan, C. (2020, janeiro 10). The interplay of circular economy with industry 4.0 enabled smart city drivers of healthcare waste disposal. *Journal of Cleaner Production*, 279. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123854> Ramaprasad, A., Sanchez, A. D., & Syn, T. (2017). Ontological review of Smart City research.

Palavras Chave

Cidade Inteligente, Economia Circular, Sustentabilidade

CIDADES CIRCULARES INTELIGENTES

uma jornada em rota

1. INTRODUÇÃO

As cidades inteligentes (CI), cujo termo em inglês é *smart cities*, conecta os principais sistemas de infraestrutura das cidades para que se tornem facilmente interoperáveis, eficientes, sustentáveis e mais acessíveis aos seus habitantes.

Isso pode melhorar o nível da qualidade de vida da população e reduzir o tempo para as tomadas de decisão dos agentes locais, tudo isso a partir da interconectividade estabelecida e convergência das informações, até que elas literalmente estejam “na palma das mãos” das partes interessadas e cidadãos.

Já realidade em alguns continentes e países cujas economias (PIB) lideram os rankings mundiais, como Europa, Estados Unidos e China, o número de cidades inteligentes no Brasil, apesar de incipiente, tem ganhado notoriedade à medida que mais empresas e governos investem nos setores envolvidos.

Neste estudo, conectamos cidades inteligentes (CI) aos conceitos da economia circular (EC) como uma possibilidade de integrar e potencializar seus objetivos-fim, em especial, por sua proposta de execução que envolve o compartilhamento, aluguel, a reutilização, reparação, renovação e reciclagem de materiais e produtos, efetivando a ampliação do ciclo de vida útil dos produtos sempre que possível, tendo como resultante uma qualidade de vida superior e sustentável.

Este estudo exploratório contribui na viabilização de práticas sustentáveis e “*smarts*” ao país, apresentando um framework prático para implantação e avaliação aos gestores das cidades *circulares inteligentes*, resultado da revisão bibliométrica e constructos de renomados centros de fomento dos temas pelo mundo.

2. METODOLOGIA

2.1. Problema de Pesquisa

Para definir nosso problema de pesquisa partimos dos termos-chaves: economia circular, considerando a expressão em inglês *circular economy/economies* e cidade inteligente *smart city/cities* como estratégia de cobertura ampla e significativa no domínio das variáveis para explorar nossa pergunta norteadora: **Como melhorar a gerenciamento das cidades conectando Cidades Inteligentes e Economia Circular?**

2.2. Objetivos de Pesquisa

- a) Criação de roteiro prático de indicadores para gerenciamento de Cidades Circulares Inteligentes, partindo de revisão bibliométrica transacionada à construtos de instituições referências nos temas (variáveis da pesquisa).
- b) Discutir caminhos e dificuldades do tema.
- c) Avaliação de convergência e complementariedade dos temas.

2.3. Método

Segundo (Zupic & Cater, 2015) usar palavra-chave para compilar os dados bibliométricos, define limite e um escopo dos artigos sendo o mais inclusivos possível, de modo que todos os potenciais e possíveis derivados dos termos sejam incluídos nos resultados da pesquisa.

Esta etapa consistiu em pesquisar no banco de dados Web of Science (WoS) selecionando palavras-chave específicas. Foram encontrados 78 trabalhos, quando filtrado exclusivamente por artigos entre os anos de 2017 a 2021, refinando pela análise do título e do resumo, foram selecionados 36 artigos considerados pertinentes ao objetivo da pesquisa, sendo escolhido o recorte dos últimos 5 anos pela origem da temática em publicações convergindo os temas apenas no ano de 2018.

Os materiais foram avaliados conjuntamente com o propósito das contribuições, o foco principal e os critérios definidos por cada papel e sua divisão em níveis hierárquicos.

Os dados foram coletados da Clarivate Analytics Web of Science Core Collection, que é considerada uma das bases de dados mais abrangentes para estudos de bibliometria. Além disso, entre outras bases de dados, Balstad e Berg (2020) descobriram que a Web of Science fornece dados abrangentes e comparáveis no domínio de gerenciamento em comparação com o Scopus e o Google Scholar. Portanto, após a seleção do banco de dados, foram seguidos os passos proeminentes dos estudiosos em levantamentos bibliométricos (Chabowski et al., 2013). As palavras selecionadas foram pesquisadas dentro do título, palavras-chave e identificadores específicos de artigos de todos os resumos disponíveis em todas as revistas.

A fim de agregar valor ao estudo e seus resultados práticos, foi realizada uma análise dos principais constructos das variáveis divulgadas por renomadas instituições em cada uma das variáveis, transacionando estes achados com os principais resultados convergentes da análise bibliométrica, apresentados no item 4.1 Principais achados e resposta da pesquisa.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. Visão geral das cidades inteligentes e da economia circular

3.1.1. A evolução das cidades inteligentes

A parcela da população nas cidades continua a crescer, e é provável que chegue a mais de 80% até 2050 (Banco Mundial, 2019) gerando amplos desafios em relação à poluição do ar, congestionamentos, gestão de resíduos e saúde humana (OCDE, 2012).

As áreas urbanas também estão promovendo transformação inovadora, incubadoras de novos conceitos e ideias, direcionando ambos: economia global e local e, além disso, criando oportunidade de trabalho e bem-estar. As cidades são lugares dinâmicos onde a mudança pode acontecer em uma escala maior e em um ritmo mais rápido, e são lugares privilegiados (Cappellaro et al., 2019).

Entretanto, apesar de ser um tema importante para o futuro, tem uma trajetória já percorrida por pelo menos 30 anos, segundo Marsal-Llacuna, Colomer-Llinàs e Meléndez-Frigola (2015), o monitoramento urbano começou na década de 1990, quando a Agenda Local 21 (Organização das Nações Unidas, 1992) estabeleceu indicadores para monitorar a sustentabilidade das áreas urbanas. Pensando nessa lógica, este artigo investiga as formas como os conceitos de cidades inteligentes e economia circular podem convergir para uma gestão sustentável de recursos e estratégias.

De acordo com a Ellen Macarthur Foundation (EMF) (2021), a economia circular (EC) nas cidades deve basear-se em três princípios:

1. Regenerar o sistema natural, preservando e aprimorando o capital natural.
2. Manter produtos e materiais em uso e reduzir utilização de materiais virgens.
3. Projetar resíduos e poluição.

Com isso, em nível urbano, a EC pode atuar como um processo restaurador e regenerativo.

O primeiro princípio prevê condições de regeneração, tanto do solo como pela utilização de recursos renováveis. O segundo princípio consiste em manter materiais e produtos circulando pelo seu uso eficiente, pela reutilização, reparação e pelo compartilhamento de mercadorias, sempre objetivando o prolongamento de sua vida útil (EMF, 2021; Geissdoerfer Savaget & Evans, 2017; Korhonen, Honkasalo & Seppälä, 2018; Braungart & McDonough, 2009). Por fim, o terceiro princípio visa eliminar o Resíduo e reduzir as emissões poluentes. Este princípio ocupa uma posição prioritária na hierarquia nas legislações e políticas europeias (Diretiva CE, 2018).

De acordo com Ahvenniemi et al., (2017), o objetivo geral das cidades inteligentes é melhorar a sustentabilidade com a ajuda da tecnologia. Assim, os autores recomendam o uso de um termo mais diretivo “cidades inteligentes e sustentáveis” em vez de cidades inteligentes. No entanto,

a grande lacuna atual entre as cidades inteligentes e as estruturas de cidades sustentáveis sugere que há a necessidade de desenvolver estruturas de mais cidades inteligentes ou redefinir o conceito de cidade inteligente. Recomendamos que a avaliação do desempenho de cidades inteligentes não deve apenas utilizar indicadores de produção que medem a eficiência da implantação de soluções inteligentes, mas também indicadores de impacto que meçam a contribuição para os objetivos finais, como a sustentabilidade ambiental, econômica ou social. Para contribuir neste constructo, incluímos a economia circular neste estudo, logo, fomos buscar o artigo mais citado sobre a temática (Korhonen et al., 2018).

O Sistema Estatístico Europeu ESS (2021) aponta a economia circular (EC) como atualmente um importante conceito popular promovido pela União Europeia, por vários governos nacionais e por muitas empresas ao redor do mundo. A EC é importante pelo seu poder de atrair tanto a comunidade empresarial quanto a comunidade formuladora de políticas para o trabalho de sustentabilidade.

Segundo Granelli (2012), uma *smart city* representa “um novo tipo de bem comum, uma grande infraestrutura tecnológica e imaterial que faz com que pessoas e objetos se conectem entre si, de forma que integre informações e gere inteligência, fomenta a inclusão e melhora o cotidiano”. Em uma cidade inteligente, a sustentabilidade social, econômica e ambiental está intimamente relacionada.

Uma compreensão mais ampla das cidades inteligentes também destaca o uso de tecnologias modernas, mas as vê principalmente como um facilitador para uma melhor qualidade de vida e para a redução dos impactos ambientais (IEEE, 2020).

As cidades têm papel fundamental na luta contra as mudanças climáticas, e a implantação de novas tecnologias inteligentes é vista como fator-chave para diminuir as emissões de gases de efeito estufa e melhorar a eficiência energética de si mesmas. Essas tecnologias precisam ser inteligentes, enxutas, integradas, econômicas e eficientes em recursos, e devem ter um impacto não apenas nas metas de sustentabilidade ambiental, mas também no bem-estar dos cidadãos e na sustentabilidade financeira (Ahvenniemi et al., 2017).

3.1.2. A economia circular nas cidades

A cidade circular está emergindo como novo conceito e forma de prática no desenvolvimento urbano sustentável, em resposta aos desafios complexos e urgentes da urbanização, aos quais se incluem mudanças climáticas, aumento das desigualdades e implantação de capital natural (Gravagnuolo, Angrisano & Girard, 2019).

Estratégias circulares da cidade podem contribuir para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável, em especial o ODS11 (em cidades seguras, inclusivas, resilientes e sustentáveis) e ODS12 (sobre produção e consumo sustentáveis).

De acordo com Cappellaro (2019) a aplicação dos princípios da EC nas cidades permitirá fomentar o desafio de transformá-las em agregados circulares, a adoção destes princípios pode ser apoiada pelo modelo ReSOLVE introduzido pela Ellen MacArthur Foundation (EMF, 2015) e que consiste nas seguintes seis estratégias: regeneração, compartilhamento, otimização, *loops*, virtualização e troca. Em particular, a regeneração diz respeito a um amplo conjunto de ações que mantêm e melhoram a biocapacidade da Terra. A estratégia de compartilhamento visa obter um total de nós de mercadorias, eliminando Resíduos e duplicações. A otimização está relacionada à remoção de resíduos e ineficiências nas fases do ciclo de vida das mercadorias, como fabricação, distribuição, uso etc. A estratégia de *loop* visa processar recursos para fechar o ciclo e recolocá-los na economia, ao invés de perdê-los em um aterro sanitário. A virtualização promove a desmaterialização de bens e produtos. Finalmente, a troca é o processo de troca de novas tecnologias, atualização ou substituição de formas mais antigas de fazer as coisas (Gravagnuolo et al., 2019).

Como apresentado por (Korhonen et al., 2018), o modelo de economia circular foi definido como um modelo econômico conhecido por ser regenerativo por design, com o objetivo de manter o máximo de valor possível de produtos, peças e materiais, com foco no ciclo de vida dos materiais para fechar o ciclo recuperando todos os resíduos como recurso para novos ciclos produtivos, previsto desde seu design.

Esse princípio também tem sido apresentado como a abordagem berço-a-berço, na qual todos os materiais e produtos são recuperados e regenerados em seu fim de vida útil. Espera-se um aumento relevante da produtividade global do sistema econômico aplicando um modelo de economia circular aos padrões atuais de produção linear-consumo, desacoplando o crescimento do consumo de recursos por meio do reaproveitamento e, assim, a prolongamento do ciclo de vida de materiais e produtos projetando resíduos (Braungart & McDonough, 2009).

Isso permite a obtenção de mais produção com menos entrada, alcançando o modelo Fator 10, com a intenção de reduzir criticamente a quantidade de insumo e aumentar a produtividade em 10 vezes em relação aos modelos de produção atuais, aplicando tecnologias inovadoras e avançadas capazes de reduzir a necessidade de matérias-primas, água doce, solos férteis e fontes de energia não renováveis para fins de produção (Ahvenniemi et al., 2017).

Uma das principais referências sobre economia circular na prática encontramos no Sistema Estatístico Europeu (ESS, 2021), que conta com o Eurostat produzindo índices europeus em parceria com os institutos nacionais de estatística e outras autoridades nacionais dos Estados-Membros da EU, incluindo autoridades estatísticas dos países do Espaço Econômico Europeu (EEE) e da Suíça.

Tabela 1 - Principais Indicadores de economia circular

Produção e consumo

Autossuficiência da UE para matérias-primas

Geração de resíduos municipais per capita

Geração de resíduos, excluindo os principais resíduos minerais por unidade de PIB

Geração de resíduos, excluindo os principais resíduos minerais por consumo de material doméstico

Gerenciamento de resíduos

Taxa de reciclagem de lixo municipal

Taxa de reciclagem de todos os resíduos, excluindo os principais resíduos minerais

Taxa de reciclagem de resíduos de embalagens por tipo de embalagem

Taxa de reciclagem de lixo eletrônico

Reciclagem de biorresíduos

Taxa de recuperação de resíduos de construção e demolição

Matérias-primas secundárias

Contribuição de materiais reciclados para a demanda de matérias-primas - taxas de entrada de reciclagem de fim de vida

Taxa de uso de material circular

Comércio de matérias-primas recicláveis

Competitividade e inovação

Investimentos privados, empregos e valor adicionado bruto relacionados aos setores da economia circular

Patentes relacionadas à reciclagem e matérias-primas secundárias

Fonte: Sistema Estatístico Europeu (ESS, 2021),

<https://ec.europa.eu/eurostat/web/circular-economy/indicators/main-tables>

3.2. Unindo os conceitos: cidades circulares e inteligentes

O estudo de Ramaprasad *et al.* (2017) apresenta critérios de cidades inteligentes de notórias instituições exclusivamente voltadas ao conceito: Smart City Council, órgão agregador de redes de empresas assessoradas por universidades, laboratórios e órgãos de padronização, que apresenta três clusters classificatórios de uma cidade considerada inteligente: habitabilidade (*livability*), empregabilidade (*workability*) e sustentabilidade (*sustainability*). Outra classificação notória é apresentada pelo *Connected Smart Cities*, o ranking que analisa 70 indicadores em todas as cidades com mais de 50 mil habitantes, em 11 eixos temáticos, identificando as cidades mais inteligentes em setores como: mobilidade, urbanismo, saúde, educação, economia etc.

Tabela 2: Eixos temáticos *Connected Smart Cities* – CSC (2020)

1. Mobilidade e acessibilidade
2. Urbanismo
3. Meio ambiente
4. Energia
5. Tecnologia e inovação
6. Educação
7. Saúde
8. Segurança
9. Empreendedorismo
10. Economia
11. Governança

Fonte: <https://ranking.connectedsmartcities.com.br/sobre- o-ranking.php>

Convergingo aos Eixos e Indicadores das agências de EC e CI, esta pesquisa aprofunda análise em 36 artigos selecionados na Web of Science, ensaiamos uma classificação por tema: EC, CI e sustentabilidade, incluindo análise e destaque ao conceito central de cada estudo, conforme exposto abaixo.

Tabela 3: Conceitos relevantes discutidos em cidades circulares inteligentes

TEMA	CONCEITO	DIMENSÕES	TÍTULO DO ARTIGO	AUTORES	ANO
ECONOMIA CIRCULAR	Indústria da construção	Estoques de materiais de construção; análise de fluxo de material; edifícios residenciais; construção; metabolismo; modelo; tempo; gás	Desenvolvimento de um cadastro de recursos urbanos para economia circular: um caso de Odense, Dinamarca.	Lanau e Liu	2020
	Ecossistema	Responsabilidade social corporativa da arte; <i>Big Data</i> ; cadeia de suprimentos; eficiência energética; cuidados de saúde; estrutura; inteligente; internet	Indústria 4.0 e desenvolvimento sustentável: um mapeamento sistemático do resultado tripla, economia circular e perspectivas de modelos de negócios sustentáveis.	Khan, é; Ahmad, MO; Majava	2021
		Criação de valor; cidades inteligentes; modelo; sustentabilidade; plataformas; economia	Inovação do ecossistema circular: um conjunto inicial de princípios.	Konietzko, Buck e Hultin	2020
	Índices	Ecoeficiência; desafios; história; china; modelo	Caminhos para a economia circular regional avaliada por análise de fluxo de material e dinâmica do sistema.	Gao, Gao, Song e Fang	2020
		Tomada de decisão; regeneração urbana; patrimônio industrial; reutilização sustentável; estratégias; ativos; valores; modelo	Valorização do patrimônio cultural através do reaproveitamento adaptativo: uma abordagem multicriterial para avaliar o Castello Visconteo, em Cusago (Itália).	Dell'Ovo, Dell'Anna, Simonelli e Sdino	2021
	Mobilidade	Gestão	Mobiletrust: integração segurança da informação.	Hatzivasilis et al.	2020
	Pobreza	Soluções do lado da demanda; sustentabilidade; mobilidade; <i>design</i> ; poder	Covid, cidades e clima: precedentes históricos e possíveis transições para a nova economia.	Ao	2020
	Ciclo de Vida do Produtos	Percepção do toque; materiais inteligentes; <i>design</i> ; consumo; produto; otimização; eficiência; emissões; atitudes; fricção	Fechando o <i>loop</i> sobre o lixo eletrônico: uma perspectiva multidisciplinar	Bridgens et al.	2019
	Turismo	Prestação de serviços; cidade inteligente; concorrência; veículo autônomo.	Inovações no transporte público local: significado para a comunidade local.	Trippner-Hrabi e Podgorniak-Krzykacz	2018
		Turismo inteligente; cocriação; tecnologia; informações; fundações; gestão; experiências; conhecimento; progresso; mídia	A revolução digital na indústria de viagens e turismo.	Pencarelli	2020
	Resíduo	Comportamento planejado; comportamento de reciclagem; serviços de gestão; comportamento dos consumidores.	Hábitos e atitudes de resíduos plásticos domésticos: um estudo piloto na cidade de Valência.	Cerasi et al.	2021
		Resíduos sólidos; economia circular; lixo doméstico; coleta seletiva; resíduos municipais; Resíduo zero; gestão; geração; desempenho; energia	Estudo de caso do sistema de coleta de lixo porta a porta: uma pesquisa sobre sua sustentabilidade e eficácia.	Laurieri, Lucchese, Marino e Digiesi	2020

CIDADE INTELIGENTE	Indústria da construção	Estoques de materiais de construção; análise de fluxo de materiais; edifícios residenciais; construção; metabolismo; modelo; hora	Agência em ecossistemas urbanos circulares; perspectiva de racionalidades.	Hirvensalo et al.	2021
	Ecosistema	Cidade compacta; crescimento; prefeitos; iniciativas; liderança; encolhimento; transporte	Percepções de áreas prioritárias de políticas e intervenções para a sustentabilidade urbana nos municípios poloneses: as cidades polonesas podem se tornar inteligentes, inclusivas e verdes?	Przywojska, Podgorniak-Krzykacz e Wiktorowicz	2019
	Índices	Indústrias criativas; economia circular; cidades inteligentes; cidade; inovação; índice; informações; estratégias; política; sistemas	Indicadores para medir o desempenho do empreendedorismo urbano sustentável; um estudo de caso empírico aplicado a cidades portuguesas.	Franco e Rodrigues	no prelo
		Cidades inteligentes; desenvolvimento sustentável; resiliência urbana; construção; paisagem; dimensões; gestão; inovação; <i>design</i> ; sistema	Estratégias de economia circular em oito cidades portuárias históricas: critérios e indicadores para um quadro de avaliação de cidades circulares.	Gravagnuolo et al.	2019
	Mobilidade	Reflexões sobre as matrizes vigente	Desenvolvimento da economia circular em cidades inteligentes baseadas em FPGA e sensores sem fio.	Li, Bao, Sol e Wang	2021
	Compartilhamento economia	Teoria da prática social; consumo de energia; consumo colaborativo; sistemas de informação; práticas de aquecimento; construção física; mudança de comportamento; codestruição; redes inteligentes; procura	O advento das teorias da prática em pesquisas sobre consumo sustentável: direções passadas, atuais e futuras do campo.	Corsini, Laurenti, Meinherz, Appio e Mora	2019
	Turismo	Sistemas de gestão; economia verde; desempenho; integração; recurso; turismo; energia; água	Sobre a evolução da produção mais limpa como um conceito e uma prática.	Hens et al.	2018
	RESÍDUO	Pneus de sucata	Desenvolvimento sustentável de cidades inteligentes no contexto da implementação do programa de reciclagem de pneus.	Khudyakova, Shmidt e Shmidt	2020
		Resíduos sólidos; educação; barreiras	A gestão dos resíduos municipais através da economia circular no contexto do desenvolvimento de cidades inteligentes.	Asameu, MI; Serban, AC; Suci, MC; Bitoiu	2019
		Avaliação do ciclo de vida; Resíduo de alimentos; sustentabilidade ambiental; sistema de gestão; áreas urbanas; impacto; ilha	Comparação baseada em LCA de dois sistemas de coleta de resíduos sólidos urbanos de fração orgânica em centros históricos na Espanha.	Laso et al.	2019
Smes; política de resíduos; reciclagem; cidades circulares		Gestão de Resíduos em Pequenas e Médias Empresas (Smes) - Uma Barreira ao Desenvolvimento de Cidades Circulares.	Woodard	2020	
Gestão de resíduos sólidos; água potável; sustentabilidade; consumo; cidades		Investigando práticas urbanas de economia circular em Centocelle, Distrito de Roma.	Cappellaro et al.	2019	
Mudanças climáticas; indicadores de desempenho; gestão; água da chuva; cidades; confiabilidade; água cinza; economia; economias; opção		Para bairros circulares de água: suporte de decisão baseado em simulação para sistemas integrados de água urbana descentralizada.	Bouziotas et al.	2019	
Gestão; cidades; internet; coisas; China		A interação da economia circular com a indústria 4.0 possibilitou motoristas de cidades inteligentes de descarte de resíduos em saúde.	Chauhan, Jakhar e Chauhan	2021	
Carbono		Emissões; pegada; <i>design</i> ; imposto	Otimização de decisões da cadeia de fornecimento de autopeças de canal duplo de baixo carbono com base na arquitetura da cidade inteligente.	Liu, Z; Hu, B; Huang, BT; Lang, LL; Guo, HX; Zhao	2020
		Política; pensando; complexo; futuro; poder	Caminhos para transições sustentáveis de baixo carbono em uma cidade canadense autodependente.	Keough e Ghitter	2020
		Desenvolvimento sustentável; inovação social; mudanças climáticas; energia; governança; regiões; futuro; inteligente	Uma agenda de pesquisa e inovação para cidades europeias de emissão zero.	Nerini, Slob, Engstrom e Trutnevtye	2019
Conectividade	Metabolismo urbano, sustentabilidade, resiliência	Transição para lugares urbanos inteligentes e regenerativos (Srup): Contribuições para uma nova estrutura conceitual.	Peponi e Morgado	2021	
	Sistemas de informação; sustentabilidade; livro distribuído; ambiente construído	Habilitando uma economia circular no setor de ambiente construído através da tecnologia <i>blockchain</i> .	Shojaei, Ketabi, Razkenari, Hakim e Wang	2021	
	Inteligência artificial AI; inovação do modelo de negócio; urbanismo inteligente impulsionado; avaliação do ciclo de vida; análise de <i>Big Data</i> ; desenvolvimento sustentável; apoiar a sustentabilidade; veículos autônomos; sistema de gestão; gestão de energia	Tecnologias digitais para eficiência do metabolismo urbano: lições da parceria agenda urbana sobre economia circular.	D'Amico, G; Arbolino, R; Shi, L; Yigitcanlar, T; Ioppolo	2021	
	Aquecimento distrital; economia de energia; inteligente	Um novo modelo colaborativo para um planejamento metropolitano holístico e sustentável.	Valpreda, Moretti, Segreto, Cappellaro e Brunelli	2018	
	Negócios; modelo	O uso da tecnologia led e da biomassa para impulsionar a iluminação pública em um contexto local: o caso de Baeza (Espanha).	Molina-Moreno, Utrilla, Cortes-Garcia e Pena-Garcia	2018	
Resíduo	Ambiente Smes; eficiência energética; abordagem holística	Soluções inteligentes e oportunidades para aquecimento distrital: o caso de Budapeste.	Horkai, A; Nemethi, B; Talamon	2019	
	Emissões de gases de efeito estufa; demanda de energia cumulativa; impactos ambientais; sistemas de gestão; opções de descarte; lama de esgoto; municipal; recuperação; cenários	Avaliação do Ciclo de Vida (LCA) do tratamento de resíduos alimentares em Hong Kong: metodologia de fermentação no local.	Yeo, Chopra, Zhang, e An	2019	
	Resíduos sólidos	Indústria 4.0, abordagem de economia circular sustentável baseada em indústria para sistema inteligente de gestão de resíduos para alcançar objetivos de desenvolvimento sustentável: um estudo de caso na Indonésia.	Fatimah, Govindan, Murniningsih, e Setiawan	2020	

Fonte: Elaborado pelos autores.

A fim de sistematizar e priorizar constructos deste estudo, nos orientamos pela análise de similaridades e discrepâncias entre os conceitos observados/classificados na categorização dos 36 artigos. Nossa classificação foi por simples convergência observada entre estudos classificados pelas variáveis dominantes relacionadas à EC ou CI, incluindo aqueles com viés de estudo mais purista, direcionado à sustentabilidade em seu objeto de análise.

Entre os conceitos encontrados, 5 marcaram presença em pelo menos dois, e direcionaram nossa priorização e aprofundamento, são eles: (1) Ecossistemas, (2) Índices e indicadores, (3) Mobilidades, (4) Turismo e (5) Resíduos.

Framework 1: Similaridade de constructos

ECONOMIA CIRCULAR	SUSTENTABILIDADE	INTELIGENTE CIDADE
Ind. de construção.		
Ecossistema	<-1->	Ecossistema
		Governo
Índices	<-2->	Índices
Mobilidade	<-3->	Mobilidade
Pobreza		
		Economia compartilhada
Vida útil do produto		
Turismo	<-4->	Turismo
Resíduos	<-5->	Resíduos
	Carbono Conectividade Energia Resíduos	

Fonte: Elaborado pelos autores

Entre os cinco conceitos convergentes encontrados, estratificamos suas principais definições, contribuições dos estudos e autores pela perspectiva acadêmica e prática, demonstradas a seguir:

3.2.1. Ecossistema

O conceito de cidade circular ou cidade-região circular deriva do modelo de economia circular aplicado na dimensão territorial espacial (Gravagnuolo et al., 2019), o ambiente construído (incluindo patrimônio cultural), energia e mobilidade, gestão de resíduos, gestão de água, produção industrial (incluindo plásticos, têxteis, indústria 4.0 e projeto circular), agroalimentação, e cidadãos e comunidades.

Konietzko et al. (2020) aponta áreas estratégicas de implementação do modelo circular em cidades, destacando a falta de indicadores em alguns setores e identificando um possível quadro para avaliação do metabolismo urbano fechado a partir de uma perspectiva de ciclo de vida.

Este estudo demonstra critérios de avaliação e indicadores no ambiente construído por meio de um conjunto de princípios para a “inovação do ecossistema circular” e foram categorizados em três grupos: (1) colaboração - forma de interação das empresas com outras organizações em seu ecossistema para inovar em direção à circularidade, (2) experimentação - formas que as empresas podem organizar um processo estruturado de tentativa e erro para implementar maior circularidade e (3) de plataformas - maneiras pelas quais as empresas podem organizar interações sociais e econômicas através de plataformas online para alcançar maior circularidade (Konietzko et al., 2020).

A transição para o desenvolvimento urbano sustentável exige tanto uma gestão municipal adequada quanto ciência das autoridades locais quanto às implicações dos novos desafios de sustentabilidade urbana (Przywojska et al., 2019).

No entanto, áreas e intervenções prioritárias da política/prática não respondem bem a alguns dos desafios contemporâneos de sustentabilidade. O enfrentamento dos problemas ambientais, econômicos e sociais urbanos exigiria a implementação de novas abordagens relacionadas às cidades inteligentes, à economia circular e/ou à diversidade cultural. No entanto, essas áreas e intervenções menos tradicionais de política/prática são bastante renegadas na lista de prioridades de inúmeros prefeitos e suas equipes executivas.

3.2.2. Indicadores

Vários sistemas de indicadores também foram desenvolvidos por organizações de pesquisa e projetos de pesquisa. De acordo com Georges et al., (2010), os indicadores de desenvolvimento sustentável são cada vez mais utilizados pela administração pública para confirmar as estratégias de desenvolvimento sustentável das cidades, possibilitando especialmente atividades de avaliação e monitoramento (Ahvenniemi et al., 2017)

O estudo de (Franco & Rodrigues, no prelo) identifica indicadores que contribuem para o equilíbrio sustentável tripartite das cidades, assumindo o empreendedorismo urbano sustentável como premissa crucial, mensurando o empreendedorismo urbano sustentável por meio de um composto de indicadores existentes na literatura das cidades.

Ambos os artigos classificados como “Indicadores” enfatizam o empreendedorismo urbano sustentável e seu constructo essencial para as cidades, permitindo uma solução para muitos de seus problemas urbanos por sua associação com a economia criativa e sua influência na revitalização dos espaços urbanos pela regeneração urbana e pela importância nessas redes, sendo esta última outra construção fundamental.

3.2.3. Mobilidade

Hatzivasilis et al. (2020) apresentam soluções para fornecer segurança, privacidade e confiança em um cenário de transporte inteligente e consciente de energia, aproximando a visão de economia circular sustentável. Devido ao surgimento da Internet das Coisas e aplicativos de inteligência ambiental, se estabelece a funcionalidade de compartilhamento de recursos seguros incorporando esquemas de confiança. Essa confiança se amplia com a utilização de *blockchain* (Shojaei et al., 2021), possibilitando efetuar rastreamento, tornando o planejamento proativo para sua reutilização e realidade tangível.

O *blockchain* é mostrado como uma abordagem viável e nova para empregar conceitos EC no domínio do ambiente construído. Além disso, a estrutura aqui apresentada pode ser benéfica para cidades inteligentes e comunidades onde um estilo *blockchain* de fluxo de informações pode produzir sinergia com outros aspectos de uma comunidade inteligente e conectada.

Um *blockchain* permite uma rede de informações rápida, segura e acessível, fornecendo um livro razão descentralizado, no qual materiais e produtos podem ser rastreados até suas fontes (Trippner-Hrabi & Podgorniak-Krzykacz, 2018). Dessa maneira, se nota a prática da economia circular englobando uma abordagem abrangente para o *design* consciente e a escolha dos materiais, além de manter a utilidade máxima dos produtos durante os ciclos de produção, operação e reutilização pela implementação de *loops* fechados.

Shojaei et al. (2021) tratam das inovações implementadas no transporte público, com resgate teórico baseado nos mais recentes conceitos de desenvolvimento territorial: a teoria do desenvolvimento sustentável, da economia circular e da cidade inteligente. Inovações neste contexto podem ser analisadas por seu impacto sobre: a comunidade local, o meio ambiente, a saúde, a segurança e os aspectos econômicos e sociais. A principal conclusão da análise é que as inovações técnicas no transporte público contribuem para a melhoria da mobilidade, do conforto e da segurança do deslocamento e, ao mesmo tempo, têm impacto positivo no meio ambiente.

3.2.4. Turismo

Hens et al. (2018) *Clear Production* (CP), em português Produção Limpa, foi a resposta da indústria ao apelo ao desenvolvimento sustentável, lançado pela World Commission on Environment and Development – WCED (Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento) da ONU em 1987 e elaborado na Agenda 21 do Rio de Janeiro em 1999.

Durante todos esses anos, o conceito foi colocado em prática ajustando e lapidando seu escopo, métodos e área de aplicação, proporcionando um impacto socioeconômico mais profundo do que a ideia originalmente lançada, para despertar a indústria sobre suas responsabilidades ambientais (Trippner-Hrabi e Podgorniak-Krzykacz, 2018).

O estudo de Pencarelli (2020) utiliza o conceito de produção limpa aplicado ao turismo sustentável, discutido com mais detalhes atualmente, essa ampliação disponibiliza métodos cada vez mais adaptados que suportam a medição por indicadores das estratégias de avaliação e contabilidade verde, aplicados ao turismo sustentável. Essa evolução é discutida em um contexto de diluição das metas ambientais originais em um escopo mais amplo, mais social e a transição para uma gestão mais responsável, proativa e confiável dos setores que aplicam CP. Convergindo às lapidadas técnicas da produção limpa, temos as tecnologias do turismo 4.0 (também ancorados nos desdobramentos tecnológicos da indústria 4.0) voltadas para a melhoria da qualidade das práticas turísticas, assumindo a expertise e a sustentabilidade como paradigma certo para melhorar a qualidade de vida e o valor social tanto dos hóspedes quanto dos moradores locais (Pencarelli, 2020).

Complementando o contexto turístico, o estudo de Trippner-Hrabi e Podgorniak-Krzykacz (2018) trata das questões das inovações implementadas no transporte público, com composição teórica definida na forma dos mais recentes conceitos de desenvolvimento territorial: a teoria do desenvolvimento sustentável, da economia circular e da cidade inteligente. As inovações foram analisadas em seu impacto sobre a comunidade local, o meio ambiente, a saúde, a segurança e os aspectos econômicos e sociais. A principal conclusão da análise é que as inovações técnicas no transporte público contribuem para a melhoria da mobilidade, do conforto e da segurança do deslocamento e, ao mesmo tempo, têm um impacto positivo no meio ambiente.

As mudanças de escopo são exemplificadas com a crescente importância da responsabilidade social corporativa. Isso inclui que as empresas pós-modernas não só têm responsabilidades sobre seu desempenho econômico e meio ambiente, como também devem atuar em questões como direitos humanos e recursos, ética empresarial e envolvimento da comunidade. Os elos entre CP e economia verde circular são indicados. A abordagem CP é cada vez mais aplicada fora da indústria. (Hens et al., 2018).

Pencarelli (2020) destaca que em um futuro próximo não será possível que os ecossistemas e territórios turísticos levem em conta apenas as inovações digitais, mas terão que incluir perspectivas inteligentes de turismo, como sustentabilidade, economia circular, qualidade de vida e valor social; eles também deverão buscar melhorar as experiências turísticas e aumentar a vantagem competitiva dos destinos turísticos inteligentes.

Sensores em casas inteligentes são capazes de interconectar dispositivos como termostatos, máquinas de lavar, televisores, *laptops*, *tablets* e outros objetos às plataformas de Internet das Coisas. Novas tecnologias digitais introduziram importantes inovações em fábricas, hospitais, hotéis, cidades e territórios. A indústria 4.0 está sinalizando o fim de padrões bem estabelecidos e pede a estudiosos, gestores e cidadãos dispostos a sobreviver neste ambiente em constante mudança e cada vez mais complexo para observá-lo através de diferentes lentes e novos paradigmas (Pencarelli, 2020).

O setor turístico também está muito envolvido em transformações digitais, qualificando-as cada vez mais com expressões como Turismo 4.0 ou Turismo Inteligente (Trippner-Hrabi e Podgorniak-Krzykacz, 2018).

3.2.5. Resíduos

Cerasi et al. (2021) avaliam a reciclagem plástica com o objetivo de fomentar a reciclagem de embalagens, melhorar todas as etapas da coleta de resíduos e promover o consumo responsável, que converge com os estudos de Laurieri et al. (2020), que avaliaram um sistema de coleta de resíduos porta a porta, uma pesquisa sobre sua sustentabilidade e efetividade.

A gestão de resíduos municipais é um tema relevante nos dias de hoje, em sua relação com preocupações sustentáveis e ambientais. O impacto ambiental causado tanto pela coleta quanto pelo transporte de resíduos, juntamente com a qualidade dos resíduos, deve ser cuidadosamente estudado para avaliar a sustentabilidade desse sistema de coleta Laurieri et al. (2020), os

cidadãos estão mais motivados a coletar adequadamente frações de resíduos ordenados ao receber informações sobre os benefícios ambientais subsequentes e os resultados das frações coletadas (Cerasi et al., 2021), porém uma alta porcentagem de pessoas ainda usam itens descartáveis em sua vida diária.

De acordo com Aceleanu, Serban, Suciú e Bitoiu (2019), uma economia circular é um fator importante para desenvolver as cidades inteligentes, que podem ser entendidas como cidades sustentáveis, com bom desempenho em economia e governança, também em meio ambiente e qualidade de vida.

Destacam-se algumas das barreiras econômicas e institucionais que podem ser enfrentadas em todos os níveis econômicos. As recomendações da UE associam-se às tendências de aumento dos preços de matérias-primas e à necessidade de reduzir a dependência de importações, como meios de garantir a segurança energética e a sustentabilidade, respeitando os imperativos da proteção do meio ambiente e requerem um foco nos esforços para essas direções (Cappellaro et al., 2019).

A combinação de experiência comunitária inteligente e aplicação de princípios de economia circular resultou em várias vantagens mútuas. Em particular, as práticas circulares identificadas, como hortas comunitárias, *coworkings*, sistemas de produção locais, centros de reciclagem e outras experiências de gestão de resíduos, alcançaram uma transformação urbana em termos de regeneração, compartilhamento de experiências econômicas, otimização de recursos.

Segundo as pesquisas de Aceleanu et al. (2019) e Cappellaro et al. (2019), os avanços obtidos na última década apontam que tomadores de decisão sobre gestão urbana reconhecem a importância da economia circular e tomaram algumas medidas específicas dedicadas ao foco nessa direção. Embora alguns dos indicadores referentes à reciclagem mostrem melhora, ainda há muito a ser feito para um bom desempenho neste campo. Os estudos demonstram que um dos principais desafios para o futuro, em termos de economia circular, refere-se ao desenvolvimento dos setores associados à circularidade dos recursos e ao surgimento de oportunidades de emprego, tanto no envolvimento ativo dos setores público quanto privado.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Apesar do tema sustentabilidade, base da economia circular, estar em evidência desde 1992 – na Agenda 21 das Nações Unidas, e haver indicadores estabelecidos para monitorar a sustentabilidade das áreas urbanas, notamos que a convergência de pesquisas e publicações conectando essa prática aos arquétipos e constructos de cidades inteligentes, é incipiente, tanto para as cidades já estabelecidas quanto para o fenômeno de urbanização social crescente, segundo estudos projetivos apresentados pelo Banco Mundial e pela ONU.

Foi observada ausência de um padrão ou consenso estabelecido sobre os temas, com barreiras e fronteiras nos assuntos, e mesmos órgãos internacionais e agências patrocinando estudos relacionados, é notório o fracionamento e parcialidade das análises, além de se apresentarem como iniciativas isoladas, concentradas em locais bem marcados do planeta: Europa, Ásia e Estados Unidos.

Propõe-se uma abordagem integrada a partir de uma perspectiva teórica aplicada para alinhar os problemas e soluções existentes às práticas da área de planejamento e desenvolvimento urbano sustentável inteligente, corroborando com diversos estudos, mas bastante alinhado ao proposto por (Bibri & Krogstie, 2017).

Observa-se que direcionamentos de estudos mais recentes relacionados a resíduos na região europeia parecem estar relacionados com o terceiro princípio apresentado por EMF (2021), que visa eliminar o Resíduo e reduzir as emissões poluidoras, bem como conectados à posição prioritária na hierarquia nas legislações e políticas europeias (Diretiva CE, 2018).

Se destacam em tais políticas algumas barreiras econômicas e institucionais que podem ser enfrentadas em todos os níveis econômicos, associado às tendências de aumento dos preços das

matérias-primas e à necessidade de reduzir a dependência das importações como forma de sustentabilidade e de preservação da segurança energética, respeitando os imperativos da proteção do meio ambiente. Isso nos leva a considerar que os estudos requerem um foco nos esforços para essas direções.

Mudanças climáticas, aumento das desigualdades sociais e implantação de capital natural, reforçam que as estratégias circulares de cidade inteligentes podem despontar como fortes contribuintes no alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 das Nações Unidas, em especial o ODS11 (sobre cidades seguras, inclusivas, resilientes e sustentáveis) e ODS12 (sobre produção e consumo sustentável). Todavia, os estudos demonstram que um dos principais desafios para o futuro da economia circular refere-se ao desenvolvimento dos setores associados à circularidade dos recursos e ao surgimento de oportunidades de emprego, tanto no envolvimento ativo dos setores público quanto privado, o que essencialmente pode ocorrer e ser administrado no nível municipal.

Comparando os estudos de EC + CI aos eixos temáticos do *Connected Smart Cities – CSC* (2020), não foram observadas pesquisas em diversos deles, por exemplo: educação, segurança, empreendedorismo. Além disso, não houve evidências de estudos efetuados no Brasil.

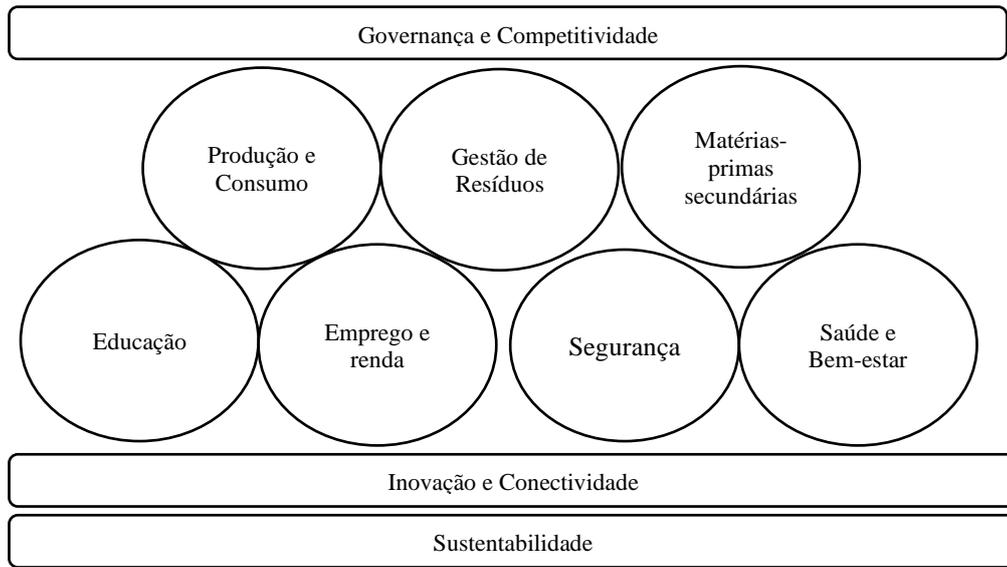
Prefeituras e equipes executivas que preferem abordagens de gestão mais participativas e solidárias são mais propensas a priorizar áreas e intervenções menos tradicionais de política/prática para resolver desafios de sustentabilidade urbana em seus municípios. (Przywojska et al., 2019)

As práticas de economia circular influenciaram positiva e ativamente a comunidade urbana apoiando uma transição para modelos de economia circular nos estudos analisados.

As principais tecnologias que suportam a interatividade de informações e integração, com amplo aspecto de desenvolvimento e disseminação apresentados: *Internet of Things* (Internet das Coisas, IoT), *blockchain*, e conexão 5G.

O estudo aponta um caminho para avaliar ou implantar uma Cidade Circular Inteligente sendo possível se guiar e priorizar 10 constructos: Governança e Competitividade, Educação, Produção e Consumo, Gerenciamento de Resíduos, Matérias-primas secundárias, Emprego e Renda, Segurança, Saúde e bem-estar, Inovação e Conectividade, Sustentabilidade, convergindo com os estudos e instituições de fomento e prática das variáveis, com excelência, vida melhor e sustentabilidade ambiental, demonstrado no esquema 1 e Diretrizes Básicas para a Cidade Circular Inteligente, a seguir.

Esquema 1 – A Cidade Circular Inteligente



Fonte: Elaborado pelos autores

Diretrizes Básicas para a Cidade Circular Inteligente

Educação	Governança e Competitividade
Taxa de crianças com acesso à escola	Quantidade de aplicativos ou webserviços municipais acessíveis à população
Índice de jovens cursando ensino médio	Áreas e órgãos municipais desburocratizadas com índices de tracking dos serviços incluindo SLA e prazos
Número de cursos técnicos e matriculados	Disponibilidade de acesso a populações de baixa renda de saneamento básico, bem com os GAPs explícitos à toda a comunidade de maneira digital, simples, em tempo real, incluindo possibilidade de avaliação dos usuários.
Taxa de aprovação e sucesso escolar	Convênios com municípios da região ou estados para trocas diversas no tema ou alianças competitivas.
Taxa de evasão e levantamento de causas	Demonstrações mensais dos resultados e efetivos planos de ação de recuperação das metas estabelecidas para cada Fator da Cidade Circular Inteligente, com devidos responsáveis, prazos e uso de orçamento pré-estabelecido
Garantia das temáticas da Economia Circular nas grades curriculares (fund., médio, técnico e superiores)	Sessões públicas digitais (modelo Live) periódicas, com os responsáveis dos Fatores da Cidade Digital Inteligente, incluindo mediação e resposta ao vivo de ao menos 10 perguntas da sociedade civil conectada ao tema
Formação de professores nas temáticas e incentivo da formação em seus planos de carreira	Royalties pagos ou recebidos inerentes ao tema sustentabilidade circular
Número de projetos transversais conectando às temáticas	Taxa de digitalização do monitoramento e gestão digital que suportam as decisões estratégicas, táticas e operativas
Prêmios de reconhecimento de projetos e práticas circulares	Produção e consumo
Hackathons, concursos, palestras e práticas de engajamento (físicos e virtuais)	Autossuficiência do município para matérias-primas
Saúde e Bem-Estar	Geração de resíduos municipais per capita
Dispositivos digitais acessíveis sobre disponibilidades de serviços de saúde online em tempo real confiáveis	Geração de resíduos, setorizando principais resíduos minerais por setores econômicos municipais, base PIB
Informações sobre taxas de sucesso de pacientes, por patologias, faixas etárias e outros	Geração de resíduos, setorizando principais resíduos minerais por consumo de material doméstico
Informações sobre vagas à profissionais da saúde e mecanismos de preenchimento imediato	Taxa de reuso de resíduos locais de qualquer natureza como matéria da indústria (looping de circularidade local)
Taxa de cumprimento dos índices de saúde e bem-estar da OMS, ONU e outros órgãos respeitados da área	Acompanhamento sistemático das reduções de uso de matéria-prima virgem
Contribuições com informações do sistema de saúde local à estudos de melhoria da área	Gestão de resíduos
Canais de transparência sobre investimentos e aplicação dos recursos online em tempo real	Taxa de reciclagem de lixo municipal
Avaliação das unidades de saúde on-line de maneira 360 (agentes de saúde, população, órgãos responsáveis poder público e iniciativa privada)	Taxa de reciclagem de todos os resíduos, excluindo os principais resíduos minerais
Disponibilidade de informações dos pacientes à sua rede de apoio em tempo real quando sob responsabilidade de agentes de saúde (cumprindo regras éticas e sigilos)	Taxa de reciclagem de resíduos de embalagens por tipo de embalagem
Segurança	Taxa de reciclagem de lixo eletrônico
Monitoramento inteligente e operante da segurança pública	Reciclagem de biorresíduos
Desburocratização de mecanismos de acesso ao pedido de socorro, ajuda e amparo em situações de vulnerabilidade de segurança	Modelo de coleta e tratamento dos diversos tipos de resíduos municipais
Ações preventivas, viável pelo uso de sistemas de inteligência artificial e análises preditivas.	Taxa de recuperação de resíduos de construção e demolição

Garantia de infraestrutura para os serviços de segurança
Apoio e incentivo ao capital humano do setor
Uso de melhores práticas e técnicas
Emprego e Renda
Indicadores de emprego e renda originados ne práticas circulares inteligentes
Taxa de renda per capita
Índice de pessoas economicamente ativas com renda
Maximização de pessoas com renda com implantação de ações circular e ou inteligentes
Fomento ao empreendedorismo
Novas formas de renda originados das novas demandas sociais, sustentabilidade e tecnológica
Hackathons, concursos, palestras e práticas de engajamento (físicos e virtuais) ao empreendedorismo
Sustentabilidade
Monitoramento inteligente e operante da sustentabilidade circular local
Taxa de uso da conectividade e novas tecnologias para maximização de práticas sustentáveis circulares
Iniciativas para apoio e fomento com melhores taxas e impostos às práticas circulares de sustentabilidade
Iniciativas para apoio e fomento com melhores taxas e impostos às práticas de conectividade e inteligência pública

Fonte: Elaborado pelos autores

Matérias-primas secundárias
Contribuição de materiais reciclados para a demanda de matérias-primas - taxas de entrada de reciclagem de fim de vida
Taxa de uso de material circular
Comércio de matérias-primas recicláveis
Cadeia da reciclagem local (Capital humano, índice de oficialização das organizações envolvidas, incentivos governamentais)
Plano de maximização do uso de matérias-primas secundárias, nas atividades econômicas atuais
Plano do uso de matérias-primas secundárias, nas em novas atividades econômicas (desenvolvimento econômico e social)
Inovação e Conectividade
Investimentos privados, empregos e valor adicionado bruto relacionados aos setores da economia circular
Patentes relacionadas à reciclagem e matérias-primas secundárias
Número de convênios com instituições de ensino e pesquisa para novos produtos e serviços circulares municipais
Taxa de inclusão sistêmica da temática Cidade Circular Inteligente nas ONGs e organizações civis setoriais dos municípios (ex. Associações: Comerciais, da Indústria, Sindicatos, Instituições Religiosas e não religiosas (Rotary, SABA etc.).
Taxa de replicação de inovações de outras regiões e exportação de tecnologias circulares e inteligentes.
Taxa de habitantes com acesso à internet mínima 4G
Dispositivo digital online integrador de todos os Fatores da Cidade Circular Inteligente
Índice de conexão rápida e segura (ex.: fibra ótica)

5. CONCLUSÃO

O presente estudo cumpre com seus objetivos de organizar os principais estudos relativos ao tema de maneira sistemática e suportar futuros estudos empíricos envolvendo CI e CE. Os cinco principais conceitos aprofundados na análise bibliométrica neste trabalho (Ecosistemas, Índices/indicadores, Mobilidades, Turismo e Resíduos) se conectam com as diversas escalas de avaliação e ranqueamento de cidades inteligentes, entretanto de maneira dispersa e parcial o mesmo ocorre quando observado com princípios da CE.

Observamos que as questões críticas permanecem incipientes, ainda pouco exploradas, substancialmente ignoradas e teoricamente subdesenvolvidas quanto à sua contribuição à sustentabilidade e para fins aplicados em relação aos modelos existentes de cidades inteligentes e economia circular.

A maioria das pesquisas aqui apresentadas são experimentos de fomento público com foco em parte dos construtos da CI e CE, cujas motivações originaram de legislações de níveis: mundial, blocos continentais ou países.

As soluções atuais adotam tecnologias que podem cobrir áreas operacionais. No entanto, esses sistemas não conseguem capturar algumas propriedades inerentes ao que se propõe como interação rápida e efêmera, tornando desafiadora a avaliação robusta da confiança e principalmente permitindo o enquadramento como cidade inteligente, apesar de os rankings existentes definirem classificações e reforços positivos durante as jornadas.

Outro aspecto citado pelos estudos se refere a questão diplomática e interesses de prefeitos e equipes executivas que atribuem maior prioridade às áreas de política/prática e intervenções relacionadas a domínios econômicos e sociais, e ligeiramente menor prioridade às ambientais. As lacunas na pesquisa no campo das cidades inteligentes e sustentáveis são identificadas de acordo com e além da pesquisa que está sendo proposta. Como resultado, propõe-se uma abordagem integrada, alinhada aos problemas e soluções existentes para as práticas futuras na área de planejamento e desenvolvimento urbano sustentável inteligente.

Os estudos demonstram que um dos principais desafios para o futuro, em termos de economia circular, refere-se ao desenvolvimento dos setores associados à circularidade dos recursos e ao surgimento de oportunidades de emprego, tanto no envolvimento ativo dos setores público quanto do privado.

Também revela que inúmeras oportunidades de pesquisa estão disponíveis e podem ser realizadas no domínio de cidades inteligentes e circularmente sustentáveis. Recomendamos que a avaliação do desempenho de cidades inteligentes não deve apenas utilizar indicadores de produção que medem a eficiência da implantação de soluções inteligentes, mas também indicadores de impacto que medem a contribuição para os objetivos finais, como sustentabilidade ambiental, econômica ou social.

Entre as inúmeras limitações deste estudo destacamos a diversidade de escalas para os constructos, o que ora agrega e ora dissipa valor aos objetivos da pesquisa, além disso, para o olhar prático país evidenciamos a inexistência de publicações conectando CI e CE no contexto Brasil.

Este estudo atendeu aos objetivos iniciais e entrega um roteiro para gestores de municípios que visam implementação ou aperfeiçoamento circular sustentável e digital inteligente à sua cidade. Os métodos conjugados da revisão bibliométrica sobre os conceitos da Economia Circular e Cidades Inteligentes, e da avaliação de construtos práticos orientativos propostos e disseminados por respeitadas instituições referência nos temas, convergiram para sua contribuição científica e gerencial.

Como futuros estudos recomendamos análise de casos múltiplos com cidades tidas como inteligentes no Brasil e Europa (por demonstrar maior maturidade de estudos científicos na área), analisando evidências e oportunidades de práticas da CE, suportando uma matriz de materialidade robusta e possível para a realidade país.

Garantir a mobilização significativa de recursos de uma variedade de fontes, através da conexão tecnológica e cooperação para o desenvolvimento sustentável, a fim de fornecer meios adequados e previsíveis para os municípios, em particular direcionar ações rumo ao desenvolvimento de cidades circulares inteligentes, para implementar programas e políticas para erradicar a escassez de recursos naturais e a pobreza humana em todos suas dimensões é um caminho que requer união de forças de acadêmicos para aumentar coletivamente a capacidade, assim atendendo às necessidades sociais melhor e mais sustentável.

6. REFERÊNCIAS

- Acelandu, M. I., Serban, A. C., Suci, M. C., & Bitoiu, T. I. (2019, julho 15). The management of municipal waste through circular economy in the context of smart cities development. *IEEE Access*, 7, 133602-133614. doi: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2928999>
- Ahvenniemi, H., Huovila, A., Pinto-Seppä, I., & Airaksinen, M. (2017, fevereiro). What are the differences between sustainable and smart cities? *Cities*, 60(part A), 234-245. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2016.09.009>
- Ao, P. N. (2020, setembro). Covid, cities and climate: Historical precedents and potential transitions for the new economy. *Urban Science*, 4(3), 1-29. doi: <https://doi.org/10.3390/urbansci4030032>
- Balstad, M. T., & Berg, T. (2020). A long-term bibliometric analysis of journals influencing management accounting and control research. *Journal of Management Control*, 30(4), 357-380.
- Bibri, Simon & Krogstie, John. (2017). Bibri, Simon Elias; Krogstie, John. (2017) The Core Enabling Technologies of Big Data Analytics and Context-Aware Computing for Smart Sustainable Cities: A Review and Synthesis.. *Big Data*. 4. 10.1186/s40537-017-0091-6.
- Bouziotas, D., Duuren, D., Alphen, H. J., Frijns, J., Nikolopoulos, D., & Makropoulos, C. (2019, junho). Towards circular water neighborhoods: Simulation-based decision support for integrated decentralized urban water systems. *Water*, 11(6), 1-25. doi: <https://doi.org/10.3390/w11061227>
- Braungart, M., & McDonough, W. (2009). *Cradle to cradle: Re-making the way we make things*. London: Vintage.
- Bridgens, B., Hobson, K., Lilley, D., Lee, J., Scott, J. L., & Wilson, G. T. (2019, fevereiro). Closing the loop on e-waste: A multidisciplinary perspective. *Journal of Industrial Ecology*, 23(1), 169-181. doi: <https://doi.org/10.1111/jiec.12645>
- Cappellaro, F., Cutaia, L., Innella, C., Meloni, C., Pentassuglia, R., & Porretto, V. (2019, outubro) Investigating circular economy urban practices in centocelle, rome district. *Environmental Engineering and Management Journal*, 18(10), 2145-2153.

- Cerasi, I. R., Sanchez, F. V., Gallardo, I., Gorriz, M. A., Torrijos, P., Aliaga, C. et al. (2021, março 21). Household plastic waste habits and attitudes: A pilot study in the city of Valencia. *Waste Management & Research*, 39(5), 679-689. doi: <https://doi.org/10.1177/0734242X21996415>
- Chabowski, B. R., Samiee, S., & Hult, G. T. M. (2013). A bibliometric analysis of the global branding literature and a research agenda. *Journal of International Business Studies*, 44(6), 622–634.
- Chauhan, A., Jakhar, S. K., & Chauhan, C. (2020, janeiro 10). The interplay of circular economy with industry 4.0 enabled smart city drivers of healthcare waste disposal. *Journal of Cleaner Production*, 279. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123854>
- Corsini, F., Laurenti, R., Meinherz, F., Appio, F. P., & Mora, L. (2019, janeiro 2). The advent of practice theories in research on sustainable consumption: Past, current and future directions of the field. *Sustainability*, 11(2), 1-19. doi: <https://doi.org/10.3390/su11020341>
- Dell'Ovo, M., Dell'Anna, F., Simonelli, R., & Sdino, L. (2021, abril). Enhancing the cultural heritage through adaptive reuse: A multicriteria approach to evaluate the Castello Visconteo in Cusago (Italy). *Sustainability*, 13(8), 1-29. doi: <https://doi.org/10.3390/su13084440>
- Ellen Macarthur Foundation – EMF. (2015, junho 26) *Delivering the circular economy: A toolkit for policymakers selection of key exhibits*. Cowes: o autor. Recuperado de https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/government/20150924_Key_Exhibits_Policy_toolkit
- Ellen Macarthur Foundation – EMF. (2021). *The circular economy in detail*. Cowes: o autor. Recuperado de <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/explore/the-circular-economy-in-detail>
- European Statistic System - ESS. (2021). Circular Economy Indicators. Recuperado de <https://ec.europa.eu/eurostat/web/circular-economy/indicators/main-tables>
- Fatimah, Y. A., Govindan, K., Murniningsih, R., & Setiawan, A. (2020, outubro 1). Industry 4.0 based sustainable circular economy approach for smart waste management system to achieve sustainable development goals: A case study of Indonesia. *Journal of Cleaner Production*, 269. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122263>
- Franco, M., & Rodrigues, M. (no prelo). Indicators to measure the performance of sustainable urban entrepreneurship: An empirical case study applied to portuguese cities and towns. *Smart and Sustainable Built Environment*. doi: <https://doi.org/10.1108/SASBE-03-2020-0017>
- Gao, C., Gao, C., Song, K., & Fang, K. (2020, março). Pathways towards regional circular economy evaluated using material flow analysis and system dynamics. *Resources Conservation and Recycling*, 154. doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104527>
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., & Evans, S. (2017). The Cambridge business model innovation process. *Procedia Manufacturing*, 8, 262-269. doi: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.02.033>
- Georges A. Tanguay, Juste Rajaonson, Jean-François Lefebvre, Paul Lanoie (2010). Measuring the sustainability of cities: An analysis of the use of local indicators, Ecological Indicators, Volume 10, Issue 2, Pages 407-418, ISSN 1470-160X, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.07.013>.
- Graneli A., (2012), Smart cities? The Italian way to Smart Cities (in Italian), *Sossella L., (Ed.), On line at: http://www.agranelli.net/DIR_rassegna/libro_CittaIntelligenti.html*.
- Gravagnuolo, A., Angrisano, M. & Girard, L. F. (2019, junho). Circular economy strategies in eight historic port cities: Criteria and indicators towards a circular city assessment framework. *Sustainability*, 11(13), 1-24. doi: <https://doi.org/10.3390/su11133512>
- Hatzivasilis, G., Soultatos, O., Ioannidis, S., Spanoudakis, G., Katos, V., & Demetriou, G. (2020, maio). Mobile trust: Secure knowledge integration in VANETs. *ACM Transactions on Cyber-Physical Systems*, 4(3). doi: <https://doi.org/10.1145/3364181>
- Hens, L., Block, C., Cabello-Eras, J. J., Sagastume-Gutierrez, A., Garcia-Lorenzo, D., Chamorro, C. et al. (2018, janeiro 20) On the evolution of cleaner production as a concept and a practice. *Journal of Cleaner Production*, 172, 3323-3333. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.082>
- Hirvensalo, A., Teerikangas, S., Reynolds, N. S., Kalliomaki, H., Mantysalo, R., Mattila, H. et al. (2021, março). Agency in circular city ecosystems-a rationalities perspective. *Sustainability*, 13(5), 1-15. doi: <https://doi.org/10.3390/su13052544>
- IEEE, (2020), the Institute of Electrical and Electronics Engineers), 2020 IEEE Annual Report Final, On line at: <https://www.ieee.org/content/dam/ieee-org/ieee/web/org/corporate-communications/annual-report/2020-annual-report/2020-ieee-annual-report-final.pdf>
- Keough, N., & Ghitler, G. (2020, janeiro). Pathways to sustainable low-carbon transitions in an auto-dependent Canadian city. *Sustainability Science*, 15(1), 203-217. doi: <https://doi.org/10.1007/s11625-019-00698-5>
- Khudyakova, T., Shmidt, A., & Shmidt, S. (2020, dezembro). Sustainable development of smart cities in the context of the implementation of the tire recycling program. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 8(2), 698-715. doi: [https://doi.org/10.9770/jesi.2020.8.2\(42\)](https://doi.org/10.9770/jesi.2020.8.2(42))

- Konietzko, J., Bocken, N., & Hultink, E. J. (2020, abril 20). Circular ecosystem innovation: An initial set of principles. *Journal of Cleaner Production*, 253. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119942>
- Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppälä, J. (2018, janeiro). Circular economy: The concept and its limitations. *Ecological Economics*, 143, 37-46. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041>
- Lanau, M., & Liu, G. (2020, abril 7) Developing an urban resource cadaster for circular economy: A case of Odense, Denmark. *Environmental Science & Technology*, 54(7), 4675-4685. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b07749>
- Laso, J., Garcia-Herrero, I., Margallo, M., Bala, A., Palmer, P. F., Irabien, A. et al. (2019, abril 1). LCA-based comparison of two organic fraction municipal solid waste collection systems in historical centres in Spain. *Energies*, 12(7), 1-18. doi: <https://doi.org/10.3390/en12071407>
- Laurieri, N., Lucchese, A., Marino, A., & Digiesi, S. (2020, julho). A door-to-door waste collection system case study: A survey on its sustainability and effectiveness. *Sustainability*, 12(14), 1-24. doi: <https://doi.org/10.3390/su12145520>
- Li, X., Bao, J., Sun, J., & Wang, J. (2021). Development of circular economy in smart cities based on FPGA and wireless sensors. *Microprocessors and Microsystems*, 80. doi: <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2020.103600>
- Marsal-Llacuna, M. -L., Colomer-Llinàs, J., & Meléndez-Frigola, J. (2015, janeiro). Lessons in urban monitoring taken from sustainable and livable cities to better address the smart cities initiative. *Technological Forecasting and Social Change*, 90 (part B), 611-622. doi: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2014.01.012>
- MI Aceleanu, AC Șerban, M. -C. Suciue TI Bițoiu, (2019). The Management of Municipal Waste through Circular Economy in the Context of Smart Cities Development, in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 133602-133614, doi: 10.1109 / ACCESS.2019.2928999.
- Molina-Moreno, V., Utrilla, P. N. C., Cortes-Garcia, F. J., & Pena-Garcia, A. (2018, julho). The use of led technology and biomass to power public lighting in a local context: The case of Baeza (Spain). *Energies*, 11(7). doi: <https://doi.org/10.3390/en11071783>
- Nerini, F. F., Slob, A., Engstrom, R. E., & Trutnevte, E. (2019, março 20). A research and innovation agenda for zero-emission european cities. *Sustainability*, 11(6), 1-3. doi: <https://doi.org/10.3390/su11061692>
- Pencarelli, T. (2020, setembro). The digital revolution in the travel and tourism industry. *Information Technology & Tourism*, 22(3), 455-476. doi: <https://doi.org/10.1007/s40558-019-00160-3>
- Peponi, A., & Morgado, P. (2021, janeiro). Transition to smart and regenerative urban places (SRUP): Contributions to a new conceptual framework. *Land*, 10(1), 1-18. doi: <https://doi.org/10.3390/land10010002>
- Przywojska, J., Podgorniak-Krzykacz, A., & Wiktorowicz, J. (2019, julho 2). Perceptions of priority policy areas and interventions for urban sustainability in polish municipalities: Can polish cities become smart, inclusive and green? *Sustainability*, 11(14), 1-24. doi: <https://doi.org/10.3390/su11143962>
- Ramaprasad, A., Sanchez, A. D., & Syn, T. (2017). *Ontological review of SmartCity research*.
- Shojaei, A., Ketabi, R., Razkenari, M., Hakim, H., & Wang, J. (2021, abril 20). Enabling a circular economy in the built environment sector through blockchain technology. *Journal of Cleaner Production*, 294. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126352>
- Trippner-Hrabi, J., & Podgorniak-Krzykacz, A. (2018, dezembro). Innovations in local public transport: Significance for the local community. *European Spatial Research and Policy*, 25(2),117-135. doi: <https://doi.org/10.18778/1231-1952.25.2.07>
- Valpreda, E., Moretti, L., Segreto, M. A., Cappellaro, F., & Brunelli, W. (2018, abril 9). A new collaborative model for a holistic and sustainable metropolitan planning. *Techne: Journal of Technology for Architecture and Environment*, 1, 115-120. doi: <https://doi.org/10.13128/Techne-22785>
- Woodard, R. (2020, dezembro). Waste management in small and medium enterprises (SMEs): A barrier to developing circular cities. *Waste Management*, 118, 369-379. doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.08.042>
- Yeo, J., Chopra, S. S., Zhang, L., & An, A. K. (2019, junho 15). Life cycle assessment (LCA) of food waste treatment in Hong Kong: On-site fermentation methodology. *Journal of Environmental Management*, 240, 343-351. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.03.119>
- Zupic, I., & Cater, T. (2015). Bibliometric methods in management and organization. *Organizational Research Methods*, 18(3), 429-472.