

Article

# Comparação entre Indicadores de Gestão de Resíduos na Perspectiva das Cidades Inteligentes e Economia Circular

Rayana Carolina Conterno<sup>1</sup>, Andressa Morgan<sup>2</sup>, Jorge José Kleinubing<sup>3</sup>, Christian Luiz da Silva<sup>4</sup>, Gilson Ditzel Santos<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Doutoranda em Desenvolvimento Regional. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Docente na Universidade Tecnológica Federal do Paraná. ORCID: 0009-0002-4879-2775. E-mail: rayana\_arq@hotmail.com

<sup>2</sup> Doutoranda em Desenvolvimento Regional. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Docente da Faculdade SENAC-SC. ORCID: 0009-0006-4974-1610. E-mail: andressamorgan@alunos.utfpr.edu.br

<sup>3</sup> Especialista em Redes de Computadores. Técnico de Ensino do SENAI-PR. ORCID: 0009-0003-9749-0711. E-mail: jorginho.k@gmail.com

<sup>4</sup> Pós-doutor Docente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. ORCID: 0000-0002-9365-6257. E-mail: christiansilva@utfpr.edu.br

<sup>5</sup> Doutor Docente e Diretor-Geral da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. ORCID: 0000-0002-7839-2281. E-mail: ditzel@utfpr.edu.br

## RESUMO

Diante dos desafios urbanos, governos são instados a adotar modelos mais inteligentes e sustentáveis, promovendo estratégias que conciliem crescimento urbano, preservação ambiental e qualidade de vida. Nesse sentido, torna-se essencial o desenvolvimento de diretrizes que não apenas mitiguem os impactos ambientais, mas também fortaleçam a resiliência e a eficiência das cidades contemporâneas. Este estudo investiga os conceitos de Cidade Inteligente (CI) e Economia Circular (EC), analisando suas diferentes abordagens para a gestão de resíduos urbanos. A comparação entre os indicadores fundamenta-se no ranking Connected Smart Cities (CSC) 2023, da Urban Systems e Necta - última edição, e no estudo de Girard e Nocca de 2019. Os resultados apontam maior afinidade da EC com a temática, mas ressaltam a necessidade de integrar circularidade e inteligência urbana para uma gestão mais eficaz e sustentável. A combinação desses conceitos pode orientar políticas públicas e decisões estratégicas, promovendo cidades mais resilientes e ambientalmente responsáveis.

**Palavras-Chaves:** gestão de resíduos; inteligência urbana; circularidade; sustentabilidade urbana; indicadores.

## ABSTRACT

Faced with urban challenges, governments are urged to adopt smarter and more sustainable models, promoting strategies that reconcile urban growth, environmental preservation, and quality of life. In this regard, developing guidelines that not only mitigate environmental impacts but also strengthen the resilience and efficiency of contemporary cities is essential. This study investigates the concepts of Smart City (SC) and Circular Economy (CE), analyzing their different approaches to urban waste management. The comparison of indicators is based on the 2023 edition of the Connected Smart Cities (CSC) ranking by Urban Systems and Necta, as well as the study by Girard and Nocca (2019). The results indicate a stronger alignment of CE with this theme but highlight the need to integrate circularity and urban intelligence for more effective and sustainable waste management. The combination of these concepts can guide public policies and strategic decisions, fostering more resilient and environmentally responsible cities.

**Keywords:** waste management; urban intelligence; circularity; urban sustainability; indicators.



Submissão: 13/02/2025



Aceite: 14/04/2025



Publicação: 05/06/2025



## Introdução

O crescimento acelerado das cidades nas últimas décadas tem gerado preocupações entre os gestores municipais. De acordo com o Relatório das Cidades do Mundo da ONU (Organização das Nações Unidas), as áreas urbanas já abrigam cerca de 55% da população global, devendo chegar a 68% em 2050, quando se estima uma população mundial de 10,2 bilhões de habitantes (ONU, 2022). Com o futuro cada vez mais urbano, é evidente que muitas cidades não estão preparadas para esse aumento populacional, o que pode resultar em problemas sociais e ambientais ainda maiores, se continuarmos com um modelo de desenvolvimento insustentável.

Ao refletir sobre a questão dos resíduos sólidos nas cidades, fica claro que eles têm causado uma série de complicações ambientais e de saúde pública. Os impactos negativos, incluem a contaminação do solo e dos lençóis freáticos, propagação de doenças, assoreamento de rios, emissão de gases de efeito estufa e degradação visual da paisagem.

O Brasil se destaca como um dos maiores produtores de resíduos sólidos, muitos dos quais são descartados de maneira inadequada, como em lixões a céu aberto, aterros controlados, redes de esgoto ou queimados (IPEA, 2020). A deposição ilegal e incorreta dos resíduos de construção civil, em particular, tem um impacto ambiental significativo e representa um dos principais desafios na gestão de resíduos urbanos. Esses resíduos, frequentemente volumosos, podem obstruir rios e aumentar o risco de inundações. Além disso, o descarte inadequado contribui para o esgotamento dos recursos naturais (Kuyven & Oliveira, 2023).

Diante dessa urgência de intervenção nas cidades, as Cidades Inteligentes (CI) emergem como um novo modelo de desenvolvimento urbano, caracterizado por sua inovação, criatividade e sustentabilidade. Este modelo enfatiza o desenvolvimento urbano, eficiência administrativa e econômica, inclusão social, tecnologia, inovação e sustentabilidade (Caragliu et al., 2011). Já Giffinger et al., (2007), definem a CI em seis categorias: economia, cidadãos, governança, mobilidade, ambiente e modo de vida.

Nessa perspectiva de cidades mais inteligentes, o conceito de Economia Circular (EC) emerge como uma abordagem para reduzir os impactos ambientais por meio de práticas de gestão e tecnologias modernas. Para Girard e Nocca (2019) e Silva e Franz (2022), a EC não apenas trata da gestão de recursos e fluxos de resíduos, mas também busca promover riqueza econômica, coesão social, satisfação das necessidades, direitos humanos e bem-estar.

Neste cenário, este estudo busca identificar como os conceitos de CI e EC se relacionam com a gestão de resíduos sólidos nas áreas urbanas. A estrutura do artigo encontra-se organizado, compreendendo, além da presente introdução e das considerações finais, as seguintes seções: Metodologia, onde é apresentado os procedimentos metodológicos adotados; Perspectivas dos Fundamentos Conceituais, onde discute-se os conceitos de CI e EC; Indicadores para a Gestão de Resíduos, abordando aspectos específicos relacionados à gestão de resíduos na perspectiva da Inteligência e Circularidade Urbana; e, Análise Comparativa, trazendo aspectos sobre os indicadores analisados.

## Perspectivas dos Fundamentos Conceituais

Pensando em atender aos desafios socioeconômicos e ambientais enfrentados pelo espaço urbano devido aos reflexos da globalização, têm-se exigido por parte dos governos, investimentos em um desenvolvimento mais sustentável e eficiente. Nesse sentido, diversas tipologias inovadoras de (re)pensar os espaços surgem buscando prever diretrizes que colaborem com a gestão dos problemas.

Os conceitos CI e EC, são concepções que podem ser trabalhadas de forma simultânea no gerenciamento urbano, visto suas interligações de abordagens conceituais. Enquanto a CI tem se tornado um dos atores principais na tentativa de solucionar, ou contornar os estrangulamentos urbanos, amparando o funcionamento



das cidades com um planejamento inteligente apoiado por Tecnologias de Informação e da Comunicação (TICs), a EC compreende a organização de seus sistemas de forma análoga a organização dos sistemas naturais, sem desperdícios, incorporando os princípios da circularidade para estabelecer um sistema regenerativo e acessível (Girard & Nocca, 2019; EMF, 2020; Lacerda & Leitão, 2021; WEF, 2018).

### ***Cidades Inteligentes***

Em se tratando da CI, que tem seu significado atrelado a como o desenvolvimento urbano se transforma, especialmente em uma perspectiva econômica e tecnológica, o modelo ganha notoriedade à medida que sistemas e tecnologias inteligentes tornaram-se fundamentais para resolverem os problemas e garantir o futuro das cidades de uma forma mais sustentável (Choi & Song, 2023).

Discutir sobre CI requer uma abordagem abrangente, pois diversos estudos apresentam definições distintas do conceito, refletindo visões e aspectos específicos dos casos analisados. Embora haja muito debate sobre o tema, é claro que uma cidade precisa ser tanto inteligente quanto sustentável para atender às necessidades não apenas dos moradores, mas de todos que habitam os espaços urbanos (Silva & Seabra, 2022).

Para Caragliu et al. (2011) a CI investe no capital humano e no capital social, na infraestrutura de mobilidade urbana e de tecnologia, de forma conjunta com uma gestão inteligente dos recursos naturais e uma governança participativa, estimulando o crescimento econômico sustentável e uma melhor qualidade de vida dentro do espaço urbano.

Já outros enfoques, orientam suas abordagens conceituais pela tecnologia, onde a concepção do modelo é definida por maximizar sua eficiência através do uso amplo de TICs. Schaffers et al., (2011) destacam que as tecnologias, como: Internet das Coisas (IoT – *Internet of Things*), *big data*, computação em nuvem e inteligência artificial, impulsionam o uso de serviços eletrônicos dentro do espaço urbano, reposicionando as cidades como propulsoras da inovação.

Nesse contexto, acadêmico principalmente, a norma brasileira (ABNT NBR ISO 37122/2020: Cidades e comunidades sustentáveis — Indicadores para cidades inteligentes), busca por aplicabilidade e por mecanismos de intervenção, trazendo a sua versão, para a definição de CI na seção 3 – Termos e definições. Onde tem-se:

[Cidade inteligente é a] cidade que aumenta o ritmo em que proporciona resultados de sustentabilidade social, econômica e ambiental e que responde a desafios como mudanças climáticas, rápido crescimento populacional e instabilidades de ordem política e econômica, melhorando fundamentalmente a forma como engaja a sociedade, aplica métodos de liderança colaborativa, trabalha por meio de disciplinas e sistemas municipais, e usa informações de dados e tecnologias modernas, para fornecer melhores serviços e qualidade de vida para os que nela habitam (residentes, empresas, visitantes), agora e no futuro previsível, sem desvantagens injustas ou degradação do ambiente natural (ABNT, 2020, p. 2).

De acordo com Höjer e Wangel (2014), uma cidade considerada sustentável e inteligente deve atender às necessidades de seus cidadãos por meio do suporte de Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs), sem prejudicar as necessidades de outros cidadãos, das futuras gerações e sem ultrapassar as limitações ambientais.

Assim, Ahvenniemi et al. (2017) destacam que, nesse modelo de desenvolvimento, a implementação de tecnologias modernas destaca-se como facilitadora para aprimorar a qualidade de vida da população e reduzir os impactos ambientais. Dameri (2013) reforça que a tecnologia é identificada como o fator primordial para o surgimento e progresso das cidades. Contudo, ele menciona que esse não é o único elemento para o êxito desse conceito; entidades como universidades, instituições de pesquisa e empresas de alta tecnologia desempenham um papel essencial na geração de ideias e soluções.



Desta maneira, as cidades tornam-se parte, quando não, o todo, de um ávido sistema de inovação, fator habilitador para o desenvolvimento regional, primordialmente, o econômico (Johnson, 2008). Ao associar o uso de TICs, as cidades do futuro se vislumbram como uma nova abordagem para o urbanismo, como uma ciência sensível a dados, oferecendo uma alternativa ao modelo de planejamento equivocado do passado e promovendo a sustentabilidade ambiental, o progresso social e a garantia do direito à cidade.

### ***Economia Circular***

Em se tratando de EC, Silva e Franz (2022), apoiando-se nas contribuições de Prieto-Sandoval et al. (2018), exploram o conceito trazendo como seus pilares fundamentais a ‘redução, reutilização e reciclagem’. A circularidade urbana, portanto, busca alcançar um desenvolvimento sustentável. No entanto, assim como acontece no conceito das CI, a EC também não é rigidamente definida. Diversas interpretações coexistem e sua implementação varia consideravelmente, como observado por Girard e Nocca (2018; 2019).

Um dos principais objetivos da EC é fechar o ciclo dos produtos criados no sistema, reaproveitando os materiais que compõem a cadeia produtiva para que circulem continuamente em todo o processo produtivo (Sauka & Silva, 2023). Além disso, a abordagem propõe a transição de um modelo linear de uso de recursos naturais para um modelo circular regenerativo, em que os materiais são continuamente reutilizados, reparados, remanufaturados e reciclados, eliminando o desperdício e a necessidade de extração de novas matérias-primas. Essa mudança busca reduzir o impacto ambiental, proteger os recursos naturais e promover a resiliência para um desenvolvimento sustentável (Petit-Boix & Leipold, 2018; Lacerda & Leitão, 2021; Silva & Franz, 2022; Munaro & Tavares, 2022).

Uma análise comparativa entre os princípios e características da economia linear e da EC, apresentada no Quadro 01, destaca-se diferenças fundamentais em termos de abordagem de produção, gestão de recursos e impactos ambientais, sociais e econômicos, o que sublinha a importância da transição para a EC.

Quadro 01 – Modelos econômicos: linear e circular

Aspecto	Economia Linear	Economia Circular
Extração dos recursos	Intensiva e contínua	Recuperação e reutilização
Produção de bens	Em grande escala	Reutilização de produtos
Consumo de bens	Descartável e sem reaproveitamento	Estímulo à reutilização
Descarte de resíduos	Maior produção de resíduos	Transformação em novos produtos

Fonte: Elaborado pelos autores com base em Aquino et al., (2023); EMF (2019); Munaro (2023); Palafox-Alcantar et al., (2020); Petit-Boix e Leipold (2018); Lacerda e Leitão, 2021; Sauka e Silva (2023); Silva e Franz (2022).

Assim, ao implementar modelos de produção centrados nestes princípios, a proposta da EC (Figura 01) emerge como uma alternativa viável ao modelo linear de produção, que se caracteriza pela exploração intensiva de recursos naturais e pela geração excessiva de resíduos.

Essa mudança de paradigma visa otimizar o uso dos recursos materiais e gerir os resíduos de forma eficiente, reintegrando-os no ciclo de vida do produto e na cadeia produtiva (Palafox-Alcantar et al., 2020). A proposta da EC (Figura 02) é fechar o ciclo de vida dos produtos, permitindo que, ao término de sua utilização, sejam reaproveitados, reutilizados ou reciclados, o que resulta em uma série de benefícios econômicos, sociais e ambientais (Vier et al., 2021). Nesta dimensão, o conceito da EC é voltado a “[...] economia verdadeiramente sustentável, que funciona sem resíduos, poupa recursos e atua em sinergia com a biosfera” (Weetman, 2019, p. 66).



Como observado na figura, o diagrama da borboleta da EC, desenha o fluxo contínuo de materiais presentes na circularidade, divididos em dois eixos, o ciclo técnico (lado direito da figura) e o ciclo biológico (lado esquerdo da figura). O ciclo biológico, estabelece a regeneração orgânica de materiais renováveis, com baixo impacto ambiental, no qual ao longo do percurso da cadeia suprimentos, seu aproveitamento ou transformação, retornem ao ecossistema.

Já o ciclo técnico, concentra-se na capacidade plena do produto até o ponto que não interessar mais ao consumidor, e mantenha as condições de funcionalidade. Neste fluxo, a circulação sistêmica de resíduos e produtos são realizadas por meio de processos de transformação, reparo e reciclagem (EMF, 2019). Estes ciclos, representados como os circuitos fechados, preservam o capital ambiental, por vez, minimizando externalidades negativas.

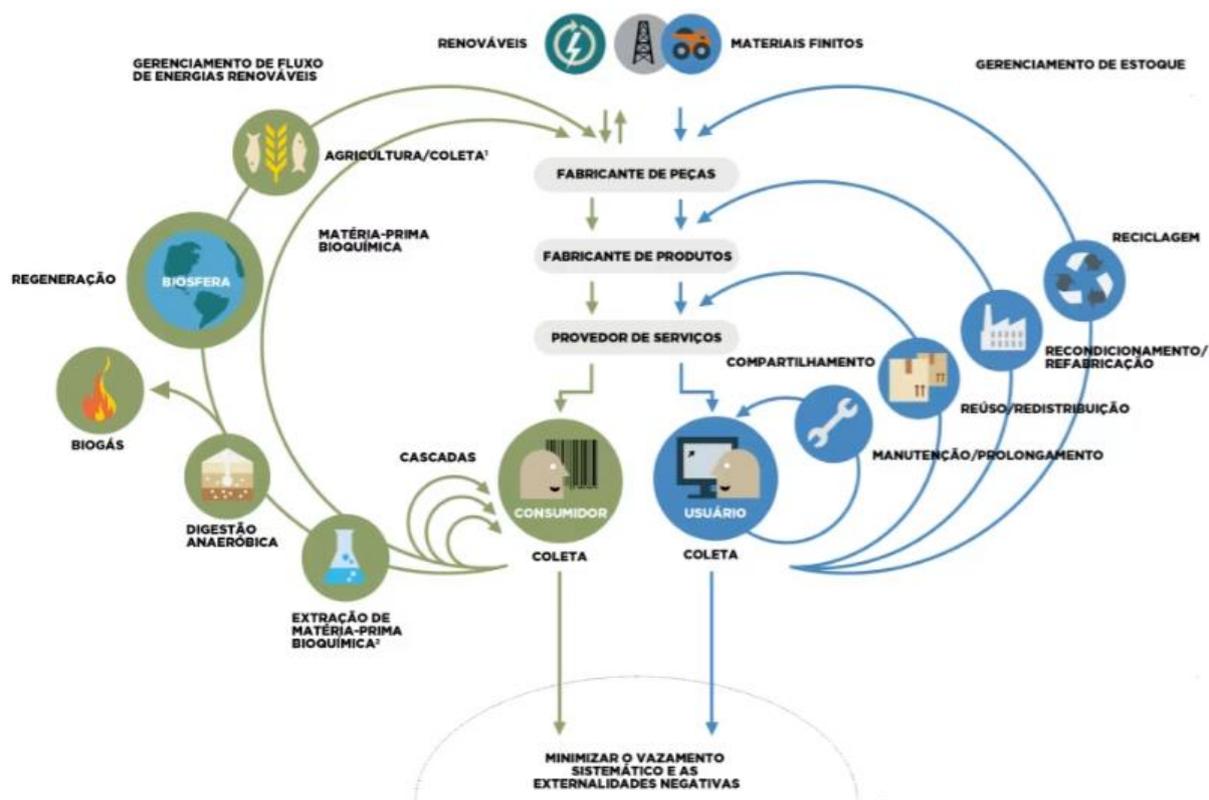


Figura 01. Diagrama da borboleta da economia circular. Fonte: EMF (2019).

Percebe-se então, que há uma redefinição do conceito de 'lixo' para 'resíduos' de bens, recursos e matérias-primas que serão transformados, por meio de um novo ciclo de produção (Weetman, 2019). Dado aos avanços tecnológicos, a engenharia de produtos e componentes são refabricados para que retornem à condição de quando transformados em matéria prima a produtos novos (EMF, 2024).

Ao mesmo tempo, a EC é vista como um sistema de promoção e desenvolvimento de novos mercados, exequíveis a esfera ambiental e econômica, sua implementação depende de esforços coletivos. Ademais, o Estado desempenha um importante papel na elaboração implementação de sistemas circulares, mediante políticas públicas que incentivem empresas e pessoas a adotarem práticas de economia circular (Aquino et al., 2023).

Embora se percebam dificuldades e potencialidades, a EC tem ganhado popularidade em diferentes níveis de atuação e em várias áreas na estrutura das cidades. Segundo Petit-Boix e Leipold (2018), a maioria das pesquisas concentra-se em esquemas de reciclagem de diversos tipos de materiais e produtos, como plásticos,



sucatas de alumínio, veículos em fim de vida, resíduos de construção e demolição, aparelhos eletrônicos e resíduos industriais. No entanto, atividades de compartilhamento, como o uso de carros compartilhados, e a redução de produtos descartáveis são raramente abordadas.

No âmbito do planejamento urbano, especialmente no que diz respeito ao uso e ocupação do solo, a EC ainda não é um tema central (Petit-Boix & Leipold, 2018). Considerando essa lacuna, a inteligência urbana pode ser uma ferramenta para preencher esse vazio, utilizando tecnologia para rastrear padrões de consumo e identificar oportunidades para aplicar os princípios da EC (Caragliu et al., 2011).

Corroborando com o exposto, Sukndev et al. (2018), ressaltam a relevância da EC na condição urbana, fornecendo uma estrutura para repensar e operar sistemas urbanos de maneira a preservar recursos naturais, sociais e financeiros. A aplicação de inteligência urbana pode fortalecer essa estrutura, permitindo que as cidades implementem soluções de EC de maneira mais integrada e informada.

Enfim, estes conceitos devem fazer parte do (re)pensar as dinâmicas das cidades. É preciso que se conscientize empresas, cidadãos e governos para que a inteligência e a circularidade urbana proporcionem um remodelamento e estimulem novas práticas de gestão.

## Metodologia

Esta pesquisa, adotou uma abordagem qualitativa, ancorada por pesquisa bibliográfica e documental, caracterizada como uma revisão da literatura. Inicialmente, a pesquisa foi realizada em construtos bibliográficos e contou com a pesquisa documental para garantir sua integridade. As obras apresentadas são referências para acadêmicos, profissionais e formuladores de políticas interessados em compreender o arcabouço teórico acerca CI e EC.

Com vistas a responder o objetivo de pesquisa, adotou-se uma metodologia exploratória e descritiva dos resultados. Considerando o conceito de CI, a fonte de dados da pesquisa empregou o *ranking Connected Smart Cities* (CSC) da *Urban Systems* e da Necta, o qual classifica as cidades brasileiras com base em seu grau de conectividade e inteligência, e baseia-se em premissas, Figura 02, para um desenvolvimento urbano sustentável (*Urban Systems*, 2023).

Para a elaboração do *ranking* foram utilizadas como referências, diversas publicações internacionais e nacionais sobre o tema de CIs, cidades conectadas, cidades sustentáveis, cidades humanas, além das normas: ABNT NBR ISO 37120 e ISO 37122, referentes aos indicadores direcionados ao desenvolvimento das cidades (*Urban Systems*, 2023).

Em relação a EC, optou-se por utilizar os indicadores do estudo de Girard e Nocca (2019). No estudo intitulado “Rumo ao modelo de economia/cidade circular: quais ferramentas para operacionalizar esse modelo?” (tradução nossa, em inglês: *Moving Towards the Circular Economy/City Model: Which Tools for Operationalizing This Model?*), os autores apresentam dois conjuntos de indicadores. O primeiro foi elaborado a partir de estudos teóricos, o que pode dificultar sua aplicação prática, especialmente devido à falta de dados concretos em alguns casos. Já o segundo conjunto reúne indicadores extraídos de estudos de caso conduzidos pelos autores, sendo, em sua maioria, aplicáveis na prática.

As cidades analisadas por Girard e Nocca (2019), que se autodenominam “Cidades Circulares”, produzem relatórios sistematizados com estratégias globais em nível urbano. Entre as cidades analisadas estão: Londres e Glasgow (Reino Unido); Roterdã e Amsterdã (Países Baixos); Paris e Marselha (França); Antuérpia e Bruxelas (Bélgica); Maribor e Liubliana (Eslovênia); Praga (República Tcheca); Kawasaki (Japão); Kalundborg (Dinamarca); além de Gotemburgo e Malmö (Suécia).

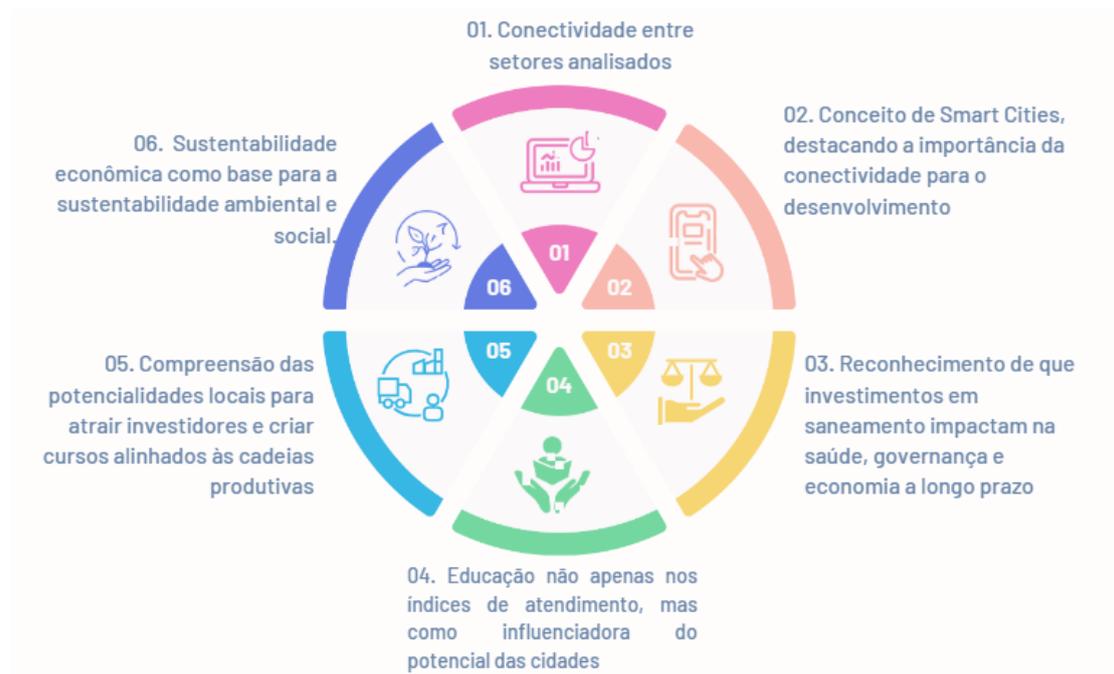


Figura 02. Premissas do ranking CSC. Fonte: Elaborado pelos autores com base em *Urban Systems* (2023).

## Indicadores para a Gestão de Resíduos

Observa-se que as cidades desempenham um importante papel no contexto contemporâneo. Portanto, é essencial considerar abordagens eficazes para o desenvolvimento desses espaços. O emprego de ferramentas analíticas possibilita a comparação de dados e ações entre cidades com base em indicadores específicos. Isso não apenas permite avaliar suas políticas atuais e verificar sua eficácia, mas também oferece a oportunidade de utilizar os resultados como uma estratégia de marketing para atrair novos investimentos.

Dessa forma, para compreender melhor a amplitude do conceito de CI e sua abordagem em relação aos resíduos, utilizou-se do ranking CSC. Esse ranking, amplamente empregado no Brasil, tem como propósito mapear as cidades com maior potencial de desenvolvimento inteligente, sendo formado por 74 indicadores interconectados, distribuídos nos seguintes eixos temáticos, conforme Figura 03.

Os temas Mobilidade (MOB), Meio Ambiente (MAM), Urbanismo (URB), Tecnologia e Inovação (TIC), Saúde (SAU), Segurança (SEG), Educação (EDU), Empreendedorismo (EMP), Energia (ENE), Governança (GOV) e Economia (ECO), correspondem aos requisitos avaliativos.



Figura 03. Ranking CSC – eixos temáticos. Fonte: *Urban Systems* (2023).

Em sua edição de 2023 (8ª edição), todas as cidades brasileiras com mais de 50 mil habitantes foram avaliadas, totalizando 656 municípios. Destes, 41 cidades possuíam mais de 500 mil habitantes, 278 tinham entre 100 mil e 500 mil habitantes, e 337 estavam na faixa de 50 mil a 100 mil habitantes (*Urban Systems*, 2023).



A seleção dos indicadores e eixos no ranking não busca substituir outras perspectivas sobre CI, mas adaptar-se à realidade das cidades brasileiras em comparação às internacionais. Na última edição, Florianópolis (SC) lidera o ranking, seguida por Curitiba (PR), São Paulo (SP), Belo Horizonte (MG) e Niterói (RJ), com três das cinco cidades mais inteligentes localizadas na Região Sudeste do Brasil (Urban Systems, 2023).

Dentre os 74 indicadores que tratam da gestão de resíduos, foram extraídos apenas três indicadores (Quadro 02) no eixo temático ‘meio ambiente’. Um dos indicadores deste eixo também aparece no eixo temático ‘saúde’ devido à sua importância para a saúde humana.

Quadro 02 – Indicadores *ranking* CSC

	Eixo temático ‘meio ambiente’	Eixo temático ‘saúde’
Indicadores	Recuperação de materiais recicláveis	--
	% de resíduos plásticos recuperados	--
	% de cobertura de coleta de resíduos sólidos	

Fonte: Adaptado de *Urban Systems* (2023).

Em relação a compreensão da EC no âmbito da gestão dos resíduos, Girard e Nocca (2019) ressaltam a importância da implementação de indicadores para avaliar a eficiência do conceito, especialmente no contexto da transição. Atualmente, não há um conjunto de indicadores disponíveis para avaliar a eficácia de uma cidade em progredir em direção à circularidade, e tampouco existem ferramentas de suporte específicas. No entanto, é crucial apresentar evidências dos benefícios multidimensionais da EC a fim de persuadir decisores políticos, comunidades e empresas sobre a viabilidade e conveniência de investir nesse modelo.

Embora as cidades avaliadas pelos indicadores de Girard e Nocca se autodenominem Cidades Circulares, os autores destacam que o adjetivo ‘inteligente’ aparece diversas vezes nos relatórios das cidades que implementam o conceito, em particular nas de Amsterdã e Roterdã. Destacam também que, a maior dificuldade em encontrar os indicadores nos estudos de casos foi a coleta deles, visto que muitos documentos carecem de transparência e clareza de dados. Muitas vezes, os indicadores estavam apenas a nível teórico, ou os dados para alimentá-los não estavam disponíveis. Nos relatórios das cidades, os dados nem sempre se encontravam sistematizados e por isso a sua compreensão era dificultosa, fora o fato de algumas cidades usarem diferentes indicadores e unidades de medidas, portanto, os impactos são difíceis de comparar (Girard & Nocca, 2019).

No que tange, as dimensões e a quantidade de indicadores foram derivadas da literatura e de documentos e relatórios oficiais, e classificados com as seguintes dimensões: ambiental, econômica e financeira, e, social e cultural (Figura 04) (Girard & Nocca, 2019).

Partindo destas dimensões, a EC, ainda há um grande foco no gerenciamento de resíduos. Um número significativo de indicadores relacionados a esse aspecto é destacado. Esses indicadores são classificados por dimensões, conforme apresentado a seguir, para facilitar o processo de avaliação.



Figura 04. Indicadores de Cidades Circulares. Fonte: Elaborado pelos autores, adaptado de Girard e Nocca (2019).

As dimensões consideradas - ambiental, financeira e econômica, social e cultural, são deduzidas a partir de duas fontes: referências literárias e de documentos e relatórios oficiais, como já citado. O desenho deste modelo



proposto por Girard e Nocca (2019), no que se refere a dimensão ambiental (Quadro 03), apresenta os indicadores de acordo com cada fonte de dados.

Quadro 03 – Dimensão Ambiental

	Deduzidos de documentos e relatórios oficiais	Deduzidos da Literatura
Dimensão Ambiental	Quantidade ou porcentagem de separação de resíduos.	Taxa de reciclagem municipal
	Aumento nos fluxos de plásticos limpos e embalagens de bebidas de resíduos residenciais.	Taxa de reciclagem de resíduos de embalagens
	Porcentagem de reciclagem dos resíduos sólidos gerados na cidade.	Quantidade de resíduos aterrados
	Porcentagem de reciclagem de resíduos de embalagens.	Porcentagem de material de resíduos sólidos depositados em aterro
	Porcentagem de reciclagem de lixo municipal.	Porcentagem de lixo doméstico que termina em aterros sanitários
	Quantidade de resíduos de construção e implementação de intervenções relacionadas a economia circular.	Porcentagem de resíduos sólidos incinerados
	Diferença entre toneladas de resíduos e toneladas de produtos consumidos.	Quantidade de resíduos alimentares tratados
	Tonelada de resíduos desviados por meio de reparo, reutilização, recuperação e reciclagem (centros de reciclagem, artesãos, brechós, laboratórios, etc.).	Resíduos alimentares tratados em pequenas e médias empresas
	Rastreabilidade de resíduos perigosos; quantidade de resíduos gerados na cidade; quantidade de resíduos gerados per capita.	Resíduos separados (valorização e tratamento de resíduos gerado na cidade).
	Quantidade de resíduos produzidos na cidade e tratados dentro da cidade em si.	
	Quantidade de resíduos sólidos reutilizados.	
	Quantidade ou porcentagem de desperdício evitado.	
	Quantidade de lixo doméstico reduzido evitando desperdício e incentivando a reutilização.	
	Porcentagem de redução da frota de coleta de resíduos.	
	Quantidade de bioresíduos de residências e cantinas de empresas usadas na produção de composto e biogás.	

Fonte: Elaborado pelos autores, adaptado de Girard e Nocca (2019).

Os indicadores ambientais, se estabelecem a partir de evidências de documentos e relatórios oficiais, o que demonstra o interesse dos atores públicos e sociais no levantamento de impactos e dados ao meio ambiente. Quanto aos indicadores das dimensões financeira e econômica, o Quadro 04, apresenta os resultados levantados por Girard e Nocca (2019).

A dimensão financeira e econômica, está, indica a relação de valores financeiros como a principal barreira para implementação da EC, vindo do setor público, e em paralelo, o setor privado, não tende a investir, por seu alto custo, questões ambientais, sanitárias e outros, que possa inferir na lucratividade. Já em relação a dinâmica, e social e cultural, os indicadores provenientes das fontes de dados podem ser observados no Quadro 05.



Quadro 04 – Dimensão Financeira e Econômica

	Deduzidos de documentos e relatórios oficiais	Deduzidos da Literatura
Dimensão Financeira e Econômica	Economias financeiras para órgãos do setor público por meio de melhorias de gestão de resíduos; custo de gestão de resíduos.	Gastos com gestão de resíduos.
	Oportunidade econômica gerada a partir de resíduos provenientes de incineradores e aterros e trocas de materiais.	

Fonte: Elaborado pelos autores, adaptado de Girard e Nocca (2019).

Quadro 05 – Dimensão Social e Cultural

	Deduzidos de documentos e relatórios oficiais	Deduzidos da Literatura
Dimensão Social e Cultural	Número de pessoas que utilizam aplicativos que exibe em tempo real os fluxos de dados de medidores inteligentes de energia, água e lixo, ajudando a aumentar a consciência sobre o consumo.	Habitabilidade (melhor tratamento de resíduos e águas residuais e tempo perdido em congestionamentos em relação a aumento/redução da poluição do ar).

Fonte: Elaborado pelos autores, adaptado de Girard e Nocca (2019).

De forma geral, na ferramenta de Girard e Nocca (2019), foram identificados 48 indicadores da literatura e 90 de documentos e relatórios oficiais na dimensão ambiental. Na dimensão econômica e financeira, foram derivados 6 indicadores da literatura e 35 de documentos e relatórios oficiais. Na dimensão social e cultural, foram deduzidos 6 indicadores da literatura e 39 de documentos e relatórios oficiais, totalizando 224 indicadores.

Quanto aos indicadores relacionados a resíduos apresentados nos quadros (3, 4 e 5), há um total de: 24 indicadores na dimensão ambiental; três indicadores na dimensão financeira e econômica; e, dois indicadores na dimensão social e cultural, correspondendo a 12,95% do conjunto total de indicadores.

O gerenciamento de resíduos é uma questão crítica em qualquer análise ambiental, econômica e social. A inclusão de indicadores de resíduos reflete a necessidade de monitorar e melhorar as práticas de gestão de resíduos para mitigar os impactos e promover a sustentabilidade.

### Análise Comparativa

A gestão de resíduos urbanos é um dos principais desafios enfrentados pelas cidades contemporâneas, especialmente à medida que a população urbana continua a crescer. Ao considerar os indicadores apresentados pelas ferramentas de CI e EC, fica perceptível a amplitude e a importância dessas métricas para avaliar diversos aspectos da sustentabilidade urbana. Uma análise comparativa entre os indicadores de gestão de resíduos dessas duas abordagens revela diferenças significativas em suas metodologias, dimensões e implementação.

A eficiência dos sistemas de coleta seletiva e reciclagem é um fator essencial para a gestão sustentável dos resíduos sólidos nas cidades. Indicadores que mensuram a separação na fonte e a taxa de reciclagem municipal refletem diretamente a eficiência dessas práticas. A correta separação dos resíduos contribui diretamente para o aumento da reciclagem e a redução da quantidade de materiais destinados a aterros sanitários, mitigando impactos ambientais e otimizando o uso dos recursos disponíveis.

Nesse contexto, o tratamento específico dos resíduos de embalagens desempenha um papel estratégico. A taxa de reciclagem desses materiais é um indicador relevante para avaliar os sistemas de gestão e incentivar a



reinserção dos insumos no ciclo produtivo, fortalecendo os princípios da EC. Da mesma forma, a gestão de resíduos alimentares emerge como uma questão prioritária. A adoção de práticas para o aproveitamento e destinação adequada desses resíduos, tanto em residências quanto no setor comercial, contribui para a redução do desperdício alimentar e promove o uso eficiente dos recursos urbanos.

A gestão dos resíduos alimentares é outro aspecto a ser considerado. O tratamento adequado desses resíduos, tanto em residências quanto em estabelecimentos comerciais, reduz a quantidade de resíduos orgânicos destinados aos aterros sanitários. A redução do desperdício alimentar, portanto, torna-se uma meta em qualquer sistema de gestão de resíduos, alinhando-se às práticas de sustentabilidade e ao aumento da eficiência dos recursos.

Além dos aspectos operacionais, a incorporação de inovações tecnológicas e a conscientização da população são elementos importantes nesse processo. O uso de sensores para monitoramento da coleta, plataformas digitais para o engajamento dos cidadãos e aplicativos educativos são exemplos de ferramentas que favorecem práticas mais sustentáveis. A adoção dessas tecnologias não apenas aprimora a coleta e destinação dos resíduos, mas também fortalece a participação social (Bachendorf et al., 2019).

Com base nos dados apresentados, observa-se que a EC abrange uma gama mais ampla (do percentual total da ferramenta) de indicadores em comparação com os indicadores das CI. Essa disparidade pode estar relacionada ao fato de que a EC é frequentemente focada em estudos que tratam diversos aspectos dos resíduos e recursos, enquanto as CI tendem a se concentrar em aspectos como eficiência administrativa, adoção de tecnologia e melhoria da qualidade de vida urbana (Silva, 2019).

Embora o CSC revise periodicamente sua metodologia para refletir a evolução das cidades brasileiras, a base de indicadores sobre resíduos urbanos tem se mantido relativamente estável. Essa continuidade possibilita análises comparativas ao longo do tempo, permitindo a identificação de tendências e avanços. No entanto, a ausência de atualizações mais frequentes pode limitar a incorporação de novas abordagens e dificultar a adaptação a conceitos como a EC. Isso pode resultar em uma visão fragmentada da realidade urbana, restringindo a formulação de políticas inovadoras e assertivas.

Nesse sentido, as diretrizes estabelecidas por normativas como a ABNT NBR 37122/2020, já citadas anteriormente, bem como a ABNT NBR 37123/2022, voltada à resiliência urbana, oferecem parâmetros para aprimorar a gestão de resíduos. Essas normas reforçam a importância de práticas sustentáveis e circulares, estimulando a adaptação das cidades aos desafios ambientais e operacionais. Assim, a convergência entre os conceitos de CI e EC, aliada ao suporte normativo da ABNT, pode fortalecer o desenvolvimento de cidades mais tecnológicas e ambientalmente responsáveis.

## Considerações Finais

Ao analisar as premissas da inteligência e circularidade urbana, especialmente no contexto da gestão de resíduos, várias considerações se tornam evidentes. A implementação das práticas dos conceitos de CI e EC enfrenta barreiras significativas, como a falta de informação compartilhada acerca dos seus métodos e a necessidade de uma maior compreensão dos fluxos de valor de materiais e serviços. Essas limitações sublinham a urgência de uma reformulação sistêmica nos modelos de produção e consumo, que deve harmonizar as interações entre oferta, demanda e políticas públicas.

Além disso, a integração das soluções baseadas em tecnologias emergentes é essencial para enfrentar esses desafios, promovendo uma gestão mais eficiente dos recursos urbanos. Ao examinar os indicadores discutidos, evidencia-se a relevância dessas ferramentas para medir o desempenho ambiental, social e econômico de organizações, comunidades e governos. Contudo, é importante reconhecer que, isoladamente, esses indicadores



podem não refletir a totalidade do impacto. Portanto, uma abordagem equilibrada, que não se restrinja a indicadores isolados, é fundamental para uma avaliação mais precisa.

Concluindo, a ascensão da EC como um paradigma inovador para a gestão de resíduos enfatiza a necessidade de não considerar apenas aspectos ambientais, mas também econômicos, culturais e sociais. Os diversos indicadores e ferramentas disponíveis para a avaliação da circularidade e da inteligência urbana oferecem um olhar sobre as melhores práticas e os desafios enfrentados por diferentes cidades em todo o mundo.

Para pesquisas futuras, recomenda-se a ampliação dos dados do *ranking* CSC e dos estudos de Girard e Nocca, bem como a incorporação de outras ferramentas de análise.

## Referências

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT ISO 37112: Cidades e Comunidades Sustentáveis — Indicadores para Cidades Inteligentes. 2020. Rio de Janeiro: ABNT.
- Ahvenniemi H et al. 2017. What are the differences between sustainable and smart cities? *Cities*. v. 60, p. 234-245: 10.1016/j.cities.2016.09.009.
- Aquino M et al. 2023. Economia Circular: uma revisão sistemática da literatura e análise bibliométrica. *Revista Da UI\_IPSantarém*, v.11, n. 2, p. 259–271: 10.25746/ruiips.v11.i2.32802.
- Bachendorf C et al. 2019. Cidades Inteligentes e Sustentáveis: uma análise sob a perspectiva das políticas públicas de Pato Branco-PR. *Informe GEPEC*, v. 23, n. 1, p. 29-50.
- Caragliu A et al. 2011. Smart cities in Europe. *Journal of Urban Technology*, v. 18, n. 2, p. 65-82.
- Choi H, Song S 2023. Direction for a Transition toward Smart Sustainable Cities Based on the Diagnosis of Smart City Plans. *Smart Cities*, v. 6, p. 156–178.
- EMF - Ellen MacArthur Foundation. Reimagining our buildings and spaces for a circular economy. 2019. Available from: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/topics/built-environment/overview>.
- EMF - Ellen MacArthur Foundation. Finding a common language — the circular economy. 2024. Available from: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/glossary>.
- Giffinger R et al. 2007. Smart cities - Ranking of European medium-sized cities. *October*, v. 16, n. October, p. 13-18.
- Girard L, Nocca F 2018. Circular city model and its implementation: towards an integrated evaluation tool. *BDC Bollettino del Centro Calza Bini*, 18, p. 11-32.
- Girard L, Nocca F 2019. Moving towards the circular economy/city model: which tools for operationalizing this model? *Sustainability*, 11, 6253.
- Höjer M, Wangel J 2014. Smart sustainable cities: Definition and challenges. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, v. 310, p. 333–349.



IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. 2020. Resíduos sólidos urbanos no Brasil: desafios tecnológicos, políticos e econômicos. Available from: <https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/217-residuos-solidos-urbanos-no-brasil-desafios-tecnologicos-politicos-e-economicos>

Johnson B 2008. Cities, systems of innovation and economic development. *Innovation*, v. 10, n. 2- 3, p. 146-155: 10.5172/impp.453.10.2-3.146.

Kuyven T, Oliveira TD de 2023. Sustentabilidade ambiental e os resíduos da construção civil (RCC): mapeamento do descarte ilegal de RCC no município de Ijuí/RS. *Informe GEPEC*, v. 27, n. 2, p. 158-183.

Lacerda MS, Leitão F de O 2021. Desafios e Oportunidades da Economia Circular: o caso dos resíduos do Coco Verde. *Informe GEPEC*, v. 25, n. 2, p. 164-181.

Munaro MR 2023. *The Circular Economy in the Construction Sector: existing trends, challenges, and tools towards buildings as material banks*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 265p.

Munaro MR, Tavares SF. A economia circular na construção civil: principais barreiras e oportunidades para a transição do setor. *Revista Tecnologia e Sociedade*, Curitiba, v. 18, n. 53, p. 54-71, 2022. Available from: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/15726>.

ONU - Organizações das Nações Unidas. 2022. World Cities Report 2022: Envisaging the Future of Cities. Available from: [https://unhabitat.org/sites/default/files/2022/06/wcr\\_2022.pdf](https://unhabitat.org/sites/default/files/2022/06/wcr_2022.pdf)

Palafox-Alcantar PG et al. 2020. A hybrid methodology to study stakeholder cooperation in circular economy waste management of cities. *Energies*, vol. 13, no. 7, 1845, p. 1-31.

Petit-Boix A, Leipold S 2018. Circular economy in cities: reviewing how environmental research aligns with local practices. *Journal of Cleaner Production*, 195, p. 1270-1281.

Prieto-Sandoval V et al. 2018. Towards a consensus on the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 179, p. 605-615.

Sauka JE, Silva CL da 2023. O fortalecimento de Cooperativas de Reciclagem e Oportunidades para um desenvolvimento territorial sustentável. *Informe GEPEC*, v. 27, n. 3, p. 26-47.

Schaffers H et al. 2011. Smart Cities and the Future Internet: Towards Cooperation Frameworks for Open Innovation. *The Future Internet*. FIA 2011. Lecture Notes in Computer Science, vol. 6656. Springer, Berlin, Heidelberg.

Silva MLA, Seabra V do N 2022. De cidade na Floresta a Cidades Sustentável: tradição, urbanização, competitividade e Inovação na Capital do Amazonas, Manaus. *Informe GEPEC*, v. 26, n. 3, p. 166-188.

Silva CL da, Franz NM 2022. The Global Movement of the Transition from Linear Production to the Circular Economy Applied to the Sustainable Development of Cities. *Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science*, v.11, n.2, p. 52-67.



Sukhdev A et al. 2018. *Cities in the Circular Economy: The Role of Digital Technology*. Ellen Macarthur Foundation. Available from: <https://emf.thirdlight.com/link/41iwzsqtgazz-dhmjn3/@/preview/1?o>

Urban Systems 2023. *Ranking Connected Smart Cities*. Available from: <https://www.urbansystems.com.br/rankingconnectedsmartcities>

Vier MB et al. 2021. Reflexões sobre a Economia Circular. *Colóquio: Revista do Desenvolvimento Regional*, v. 18, n. 4, p. 27-47.

Weetman C 2019. *Economia circular: conceitos e estratégias para fazer negócios de forma mais inteligente, sustentável e lucrativa*. Trad. Afonso Celso da Cunha Serra. São Paulo: Autêntica Business.

WEF - World Economic Forum. 2018. *Circular Economy in Cities: Evolving the model for a sustainable urban future*. Available from: [https://www3.weforum.org/docs/White\\_paper\\_Circular\\_Economy\\_in\\_Cities\\_report\\_2018.pdf](https://www3.weforum.org/docs/White_paper_Circular_Economy_in_Cities_report_2018.pdf)