

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS  
CURSO ENGENHARIA DE PRODUÇÃO ELÉTRICA

Lucas Sant'Ana Moysés Khoury

**INDICADORES DE DESEMPENHO DE SISTEMA DE GESTÃO DE RESÍDUOS  
SÓLIDOS URBANOS: UMA PROPOSTA PARA A CIDADE DE FLORIANÓPOLIS**

Florianópolis

2021

Lucas Sant'Ana Moysés Khoury

**INDICADORES DE DESEMPENHO DE SISTEMA DE GESTÃO DE RESÍDUOS  
SÓLIDOS URBANOS: UMA PROPOSTA PARA A CIDADE DE FLORIANÓPOLIS**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia de Produção do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica com habilitação em Engenharia de Produção Elétrica

Orientador: Prof<sup>ª</sup>, Dr<sup>ª</sup>. Mônica Maria Mendes Luna

Florianópolis

2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Khoury, Lucas Sant'Ana Moysés  
INDICADORES DE DESEMPENHO DE SISTEMA DE GESTÃO DE  
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: UMA PROPOSTA PARA A CIDADE DE  
FLORIANÓPOLIS / Lucas Sant'Ana Moysés Khoury ; orientadora,  
Mônica Maria Mendes Luna, 2021.  
83 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,  
Graduação em Engenharia de Produção Elétrica, Florianópolis,  
2021.

Inclui referências.

1. Engenharia de Produção Elétrica. 2. Gestão de resíduos  
sólidos urbanos. 3. Indicadores de desempenho. 4. Avaliação  
de indicadores de desempenho. I. Luna, Mônica Maria Mendes.  
II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em  
Engenharia de Produção Elétrica. III. Título.

Lucas Sant'Ana Moysés Khoury

## INDICADORES DE DESEMPENHO DE SISTEMA DE GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: UMA PROPOSTA PARA A CIDADE DE FLORIANÓPOLIS

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Engenheiro Eletricista habilitação Produção e aprovado em sua forma final pelo Curso Engenharia da Produção Elétrica

Local, 14 de Maio de 2021.



Documento assinado digitalmente  
Monica Maria Mendes Luna  
Data: 20/05/2021 16:15:42-0300  
CPF: 314.104.993-91  
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof.<sup>a</sup> Mônica Maria Mendes Luna, Dra.  
Coordenadora do Curso

### Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente  
Monica Maria Mendes Luna  
Data: 20/05/2021 16:44:25-0300  
CPF: 314.104.993-91  
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof.<sup>a</sup> Mônica Maria Mendes Luna, Dra.  
Orientadora  
Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente  
Paulo Augusto Cauchick Miguel  
Data: 20/05/2021 16:39:01-0300  
CPF: 028.363.988-17  
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Paulo Augusto Cauchick Miguel, Dr.  
Avaliador  
Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente  
Paulo Vitor dos Santos Gonçalves  
Data: 20/05/2021 16:04:37-0300  
CPF: 017.557.402-20  
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Eng. Paulo Vitor dos Santos Gonçalves  
Avaliador  
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado a minha família, a minha namorada e amigos.



## AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família por todo apoio e conforto fornecidos durante esse período de trabalho. Em especial aos meus pais, Ana Carla e Mauricio, que me proporcionaram, sem medir esforços durante toda minha vida, as condições necessárias para que eu chegasse até aqui.

Agradeço a minha namorada, Júlia, por me acompanhar nesse processo com muita paciência e amor. Sempre muito presente e incentivadora para o alcance das minhas conquistas.

Agradeço aos meus amigos de graduação e de vida por toda parceria e apoio duradouro na minha jornada. Com toda certeza, conquistamos nossas vitórias juntos dentro e fora da universidade.

Meus sinceros agradecimentos à professora Mônica pela incrível participação nesse trabalho, me proporcionando muito conhecimento, atenção e suporte durante todos os momentos. Também agradeço à professora Mirna de Borba, que me ensinou muito profissionalmente, além dos ensinamentos de vida durante minha passagem pelo PET Engenharia de Produção. Agradeço a todos os professores do departamento pelas experiências compartilhadas.

Por fim, meu mais sincero obrigado a todos que me auxiliaram e estiveram por perto para a conclusão desse ciclo de vida.





## RESUMO

A adequada gestão dos resíduos sólidos urbanos constitui um desafio para as municipalidades, tanto pelo crescente volume de resíduos gerados quanto pelo elevado custo do sistema de coleta e destinação, ou disposição final dos resíduos. Em Florianópolis foram coletados em 2020, mais de 220 mil toneladas de resíduos e o município tem buscado desenvolver ferramentas e políticas que apoiem a adoção de alternativas de revalorização desses resíduos. Nesse processo é importante utilizar indicadores que permitam a avaliação das ações adotadas e das melhorias alcançadas. Assim, o presente trabalho tem por objetivo propor indicadores de desempenho do sistema de gestão de resíduos sólidos urbanos, que possam ser adotados no município de Florianópolis. Visando à identificação de indicadores de desempenho adequados à gestão de resíduos sólidos urbanos, foi realizada uma busca em bases de dados de periódicos para selecionar trabalhos sobre esse tema. Indicadores propostos em 27 trabalhos científicos, foram classificados e organizados em categorias. Um questionário foi elaborado com a identificação dessas categorias, e exemplos de indicadores em cada categoria, para avaliação de oito especialistas da autarquia responsável pela gestão de resíduos de Florianópolis. Os especialistas avaliaram as categorias de indicadores segundo sua relevância e viabilidade de adoção considerando o contexto municipal. Os dados obtidos foram tratados e analisados, usando gráficos e quadros, e pode-se observar que os indicadores de desempenho como quantidade de resíduos sólidos coletados, quantidade de resíduos recuperáveis ou recicláveis, quantidade de resíduos recicláveis coletados e qualidade dos resíduos recicláveis coletados foram avaliados como relevantes e também coincidem com os mais citados com mais frequência na literatura. Além disso, são indicadores mais viáveis de se obter. Por outro lado, indicadores referentes à separação dos resíduos pela população, grau de envolvimento da população, poluição e saúde pública são apontados como mais difíceis de obter dados pelos especialistas, denotando uma maior dificuldade de mensuração, o que explica a menor frequência da ocorrência desses indicadores na literatura.

**Palavras-chave:** Gestão de resíduos sólidos urbanos. Indicadores de desempenho. Avaliação de indicadores de desempenho.

## ABSTRACT

Adequate management of urban solid waste is a challenge for municipalities, both due to the increasing volume of waste generated and the high cost of the collection and disposal system, or final disposal of the waste. In Florianópolis, more than 220 thousand tons of waste were collected in 2020 and the municipality has sought to develop tools and policies that support the adoption of alternatives for the recovery of this waste. In this process, it is important to use indicators that allow the evaluation of the actions taken and the improvements achieved. Thus, the present work aims to propose performance indicators for the urban solid waste management system, which can be adopted in the city of Florianópolis. In order to identify performance indicators suitable for the management of urban solid waste, a search was carried out in databases of journals to select works on this theme. Indicators proposed in 27 scientific papers were classified and organized into categories. A questionnaire was prepared with the identification of these categories, and examples of indicators in each category, for the evaluation of eight specialists from the company responsible for the management of waste in Florianópolis. The experts assessed the categories of indicators according to their relevance and feasibility of adoption considering the municipal context. The data obtained were treated and analyzed, using graphs and charts, and it can be seen that the performance indicators such as the amount of solid waste collected, the amount of recoverable or recyclable waste, the amount of recyclable waste collected and the quality of recyclable waste collected were evaluated. relevant and also coincide with those most frequently cited in the literature. In addition, they are more viable indicators to obtain. On the other hand, indicators referring to the separation of residues by the population, degree of involvement of the population, pollution and public health are pointed out as more difficult to obtain data by specialists, denoting a greater difficulty in measurement, which explains the lower frequency of occurrence of these indicators in the literature.

**Keywords:** Urban solid waste management. Performance indicators. Evaluation of performance indicators.

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 - Avaliação dos especialistas quanto à relevância dos indicadores	54
Figura 2 - Avaliação dos especialistas quanto à viabilidade de uso	56

**LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Indicadores de desempenho DPSIR	26
Quadro 2 - Indicadores de desempenho aplicados em Loulé	28
Quadro 3 - Indicadores de desempenho aplicados na cidade do Porto	29
Quadro 4 - Indicadores de desempenho para modelo de avaliação de municípios	30
Quadro 5 - Indicadores de desempenho aplicados por Alhumid et al. (2019)	33
Quadro 6 - Indicadores de desempenho em cidades brasileiras	37
Quadro 7 - Indicadores classificados por Gavrilescu e Teodosiu (2016)	38
Quadro 8 - Indicadores de reciclagem e logística	41
Quadro 9 - Grupos de artigos e os respectivos autores	45
Quadro 10 - Indicadores de desempenho na gestão de resíduos e métricas sugeridas	
46	
Quadro 11- Perfil profissional de atuação dos especialistas	50
Quadro 12- Indicadores de desempenho preliminarmente propostos	58
Quadro 13 - Proposta de indicadores de desempenho	60

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Resultados da avaliação dos especialistas

52

**SUMÁRIO**

<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>16</b>
OBJETIVOS	18
<b>OBJETIVO GERAL</b>	<b>18</b>
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>18</b>
ESTRUTURA DO TRABALHO	19
<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>20</b>
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	20
INDICADORES DE DESEMPENHO	22
INDICADORES DE DESEMPENHO PARA GESTÃO DE RESÍDUOS	23
<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS</b>	<b>43</b>
<b>ANÁLISE DOS ARTIGOS</b>	<b>45</b>
CONSOLIDAÇÃO DOS INDICADORES IDENTIFICADOS NA LITERATURA	46
AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DE USO E RELEVÂNCIA DOS INDICADORES POR ESPECIALISTAS	49
RESULTADOS	51
CONSIDERAÇÕES GERAIS E PROPOSTA DE INDICADORES	57
<b>CONCLUSÃO</b>	<b>61</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>62</b>
<b>APÊNDICE A - CONSOLIDAÇÃO DE INDICADORES DE DESEMPENHO PARA GESTÃO DE RESÍDUOS</b>	<b>66</b>
<b>APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DE INDICADORES</b>	<b>74</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A gestão de resíduos sólidos urbanos constitui um desafio para as municipalidades que buscam a sustentabilidade, visto que a quantidade de resíduos tem aumentado todos os anos. De acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PSNB), 259,5 mil toneladas de resíduos foram coletadas no ano de 2008, cerca de 65% superior à quantidade coletada em 2000, 157, 7 mil toneladas de lixo coletadas (IBGE, 2008).

A cidade de Florianópolis, por sua vez, também está incluída nesse cenário de crescimento da produção de resíduos. Em 2018, foram coletadas 216.042 toneladas de resíduos, sendo 13.513 toneladas destinadas à reciclagem (FLORIANÓPOLIS, 2021). No ano seguinte, observou-se um aumento da quantidade coletada para 222.797 toneladas de resíduos, sendo 14.074 toneladas de resíduos recicláveis (FLORIANÓPOLIS, 2021).

A gestão de resíduos sólidos municipais é considerada um sério desafio ambiental que as autoridades locais enfrentam em muitos países (QDAIS, 2007). De acordo com o Art. 10 da Lei 12.305, o Distrito Federal e os Municípios são responsáveis pela gestão integrada dos resíduos sólidos em seus respectivos territórios (BRASIL, 2010). Assim o custo de toda a operação pode representar um valor significativo nas despesas dos municípios.

Em diversos momentos, a coleta de resíduos em Florianópolis é feita em condições adversas, áreas de tráfego intenso, ruas de difícil acesso e variação de quantidade de resíduos nas diferentes áreas da cidade, as quais influenciam variáveis como distância percorrida pelos veículos de coleta, porcentagem da composição de resíduos, capacidade de equipamentos, entre outras. Uma vez que essas variáveis podem ser mensuradas por meio de indicadores de desempenho, a gestão de resíduos sólidos pode contar com esses dados para reorientar o sistema, fomentar análises mais detalhadas e, por consequência, tomadas de decisões mais adequadas ao contexto. Em um cenário de crescimento da quantidade resíduos sólidos gerados é essencial o monitoramento do desempenho para que se consiga garantir o recolhimento dos resíduos e não se perca a qualidade do serviço.

Os indicadores de desempenho são medidas simples, de fácil interpretação, acessível e confiável para monitorar diversos tipos de sistemas, incluindo serviços de gestão de resíduos (MENDES et al., 2013). Segundo Cervantes et al. (2018), um indicador é um parâmetro que fornece informações ou descreve uma área com um significado além daquele associado ao valor de parâmetro. Cervantes et al. (2018) ainda comentam sobre a importância de padronizar as informações e dados sobre a gestão de resíduos em todas as cidades e Pereira,



Curi e Curi (2018) destacam que o desenvolvimento de indicadores voltados para a sustentabilidade da gestão de resíduos sólidos contribui para tomadas de decisões melhores orientadas.

O atual desafio visando à gestão mais eficiente de resíduos ao mesmo tempo em que a quantidade de resíduos sólidos gerados aumenta torna importante identificar formas de mensurar o desempenho das atividades. Muitas novas soluções tem sido adotadas pelos municípios, mas é preciso avaliar os resultados alcançados.

É nesse contexto que o presente trabalho é desenvolvido com o objetivo de propor indicadores de desempenho que possam ser adotados para avaliar o sistema de gestão de resíduos sólidos urbanos, mais especificamente, para a cidade de Florianópolis.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é propor um conjunto de indicadores de desempenho do sistema de gestão de resíduos sólidos urbanos para a cidade de Florianópolis.

### 1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Com base no objetivo geral, os seguintes objetivos específicos determinam as entregas desenvolvidas neste trabalho.

- Identificar, na literatura, indicadores de desempenho usados na avaliação da eficiência e eficácia dos sistemas de gestão de resíduos sólidos urbanos;
- Agrupar os indicadores identificados conforme categorias propostas na literatura;
- Avaliar os conjuntos de indicadores selecionados segundo sua relevância<sup>1</sup> e viabilidade de adoção<sup>2</sup>, por meio de aplicação de questionário a especialistas que atuam junto ao sistema de gestão de resíduos sólidos urbanos da cidade de Florianópolis.
- Propor conjunto de indicadores de desempenho adequados ao sistema de gestão de resíduos sólidos urbanos da cidade de Florianópolis.

---

<sup>1</sup> Segundo Alhumid et al. (2019), os indicadores são relevantes quando importantes para a avaliação de desempenho do sistema de gestão de resíduos sólidos.

<sup>2</sup> Alhumid et al. (2019) comenta que os indicadores são mensuráveis quando deve haver dados disponíveis, ou de fácil obtenção, de forma a tornar viável sua adoção pela empresa.

## 1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em quatro capítulos. Após esse primeiro capítulo introdutório, uma fundamentação teórica é apresentada como base para o estudo, onde são pesquisados na literatura definições e aplicações sobre resíduos sólidos, indicadores de desempenho e indicadores de desempenho para a gestão de resíduos. Em seguida, tem-se o capítulo de procedimentos metodológicos: análise de artigos, consolidação de indicadores identificados na literatura, avaliação da viabilidade de uso e relevância, resultados e considerações finais e proposta de indicadores. Ainda nesse capítulo, são apresentadas a construção da proposta de indicadores de desempenho, desde a pesquisa na literatura até a disposição final, e considerações finais para a gestão de resíduos sólidos em Florianópolis com a participação avaliativa de especialistas atuantes na organização responsável pela gestão na cidade. Por fim, o quarto capítulo aponta a conclusão do trabalho e também sugestões de novos estudos.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

As subseções a seguir apresentam os tópicos pertencentes à fundamentação deste trabalho e são eles: Resíduos Sólidos Urbanos, Indicadores de desempenho e Indicadores de desempenho para gestão de resíduos.

### 2.1. RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

De acordo com o Art.3º da Lei 13.205, os resíduos sólidos são definidos como objeto que decorre das atividades humanas, consistido no estado sólido ou semissólido da matéria ou também no estado gasoso e líquido, sendo impossibilitados de serem descartados em esgotos ou corpos d'água sem a viabilidade técnica para tal (BRASIL, 2010).

Ainda, conforme Brasil (2010), o gerenciamento de resíduos sólidos é estabelecido como toda atuação, direta ou indireta, em todas as etapas, as quais contemplam do transporte dos resíduos até ao destino, respeitando o plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou o plano de gerenciamento de resíduos sólidos. A gestão integrada de resíduos sólidos consiste em identificar soluções para os resíduos sólidos, tomando interesse de dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social e tendo como alvo o desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2010).

Segundo a NBR 10004, os resíduos nos estados sólido e semi-sólido:

resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível. (ABNT, 2004, p. 1)

Ainda, como prevê a Lei 12.305, o Plano Nacional de Resíduos Sólidos deve apresentar diversos tópicos como diagnóstico da situação atual dos resíduos sólidos, metas de redução, reutilização, reciclagem, etc., medidas para incentivar a gestão regional de resíduos sólidos, bem como torná-la viável, entre outros (BRASIL, 2010).

A gestão de resíduos sólidos municipais contempla a coleta, transferência, recuperação de recursos, reciclagem e tratamento, tendo como o principal objetivo, proteger a saúde da população, promover a qualidade ambiental, desenvolver a sustentabilidade e fornecer suporte à produtividade econômica (HENRY; YONGSHENG; JUN, 2006).

Gavrilescu e Teodosiu (2016) dizem que os avanços registrados por um sistema de gestão de resíduos sólidos são direcionados por questões de saúde pública, proteção

ambiental, disponibilidade de recursos e valor dos resíduos, condições climáticas, envolvimento e apoio do público e partes interessadas.

## 2.2. INDICADORES DE DESEMPENHO

Indicadores de desempenho ou KPI (*Key Performance Indicator*) são ferramentas destinadas a medir o nível de desempenho e sucesso de uma organização ou sistema, com o foco em de que maneira essa organização ou sistema alcançou os resultados.

A seleção ou criação de indicadores de desempenho para a gestão de resíduos sólidos pode ser um desafio em locais onde os dados não possuem comportamento padrão. De acordo com Mendes et al. (2013), a gestão de resíduos em regiões turísticas sazonais é complexa, visto que a variabilidade dentro do ano da geração de resíduos sólidos é alta.

Os indicadores de gestão de resíduos sólidos municipais analisam o desempenho e tecnologias e práticas para dar suporte e rumo ao processo de tomada de decisão para impactos positivos em diferentes aspectos de sustentabilidade (DEUS et al., 2020). O indicador deve abranger as várias áreas da sustentabilidade, assim como aspectos técnicos, garantindo o sucesso da implementação de um sistema integrado (DEUS et al., 2020). Deus et al. (2020) dissertam, ainda, que os indicadores abrem oportunidades para criação de novas políticas para o desenvolvimento contínuo do sistema e que os indicadores monitoram os serviços providos à população, bem como as necessidades da população, a sustentabilidade de aterros, a coleta e custo de transporte dos resíduos e os impactos econômicos e sociais. A Teixeira et al. (2014) concordam com Deus et al. (2020) quando descrevem que o desempenho econômico e operacional recebem suporte de KPI, por exemplo, a eficiência de coleta, sendo comum o envio do resultado desses indicadores a autoridades regulatórias.

Para Cervantes et al. (2018) alguns conjuntos de indicadores para MSWM propostos variam de acordo à sua aplicabilidade a áreas com diferentes estágios econômicos, alguns são projetados para casos específicos, outros focados em abordagens particulares ou para avaliação de aspectos técnicos, sociais ou econômicos. Cervantes et al. (2018) classificam os problemas no uso de indicadores para gestão de resíduos sólidos municipais em três grupos: baixo controle da gestão, falta de transparência e falta de homogeneidade entre os indicadores usados. O primeiro grupo implica que há pouca informação ou nenhuma e outros problemas como informação obsoleta. A falta de transparência refere-se a informações que não são compartilhadas com todos os envolvidos. A falta de homogeneidade dos indicadores contempla o grupo onde as informações não são unificadas.

### 2.3. INDICADORES DE DESEMPENHO PARA GESTÃO DE RESÍDUOS

Na literatura, diversos trabalhos tratam de indicadores de gestão de resíduos sólidos urbanos. Alguns trazem uma revisão e análise da literatura como o trabalho de Conke e Nascimento (2018), que apresentam uma avaliação do serviço de coleta seletiva no Brasil, a partir dos resultados de estudos conduzidos pelo IBGE, SNIS, CEMPRE e ABRELPE, às prefeituras das cidades. Ao analisar esses relatórios é possível observar a discrepância entre os resultados obtidos pelas diferentes instituições, por conta da qualidade dos dados e diferenças nas metodologias adotadas, evidenciando a dificuldade de mensuração de aspectos relacionados à coleta seletiva no Brasil. IBGE, SNIS, CEMPRE e ABRELPE retornaram que 32%, 20%, 14% e 60% dos municípios oferecem coleta seletiva, respectivamente. Os autores afirmam que a coleta seletiva no Brasil está no início, visto que apenas 41% dos municípios oferecem esse serviço, e que as pesquisas aplicadas pelas instituições ainda não são satisfatórias para afirmarem sobre os resultados.

Sanjeevi e Shahabudeen (2015) revisaram 387 documentos dentro do tema de gestão de resíduos sólidos e eficiência da coleta de resíduos sólidos, atribuindo o crescimento de estudo da área à preocupação geral, tanto de cientistas e lideranças globais quanto da população comum. Os autores formaram 18 grupos diferentes de classificação dos documentos, sendo 59 estudos de caso. Dos 387 documentos, apenas 14 avaliavam performance e sistemas de monitoramento. Foram criados três grupos principais para o desenvolvimento dos indicadores de desempenho: i) competências dos governos em criar diretrizes e leis, onde é feito um levantamento de exemplos executados por diversos países, ii) *benchmarking* das ações de gestão de resíduos sólidos em cidades, onde são analisadas as práticas humanas, econômicas e sustentáveis, e iii) desenvolvimento dos indicadores pelos pesquisadores. Por fim, os autores propõem cinco principais indicadores de desempenho que englobam os grupos citados anteriormente: custo de coleta (*collection cost*), custo de transporte (*transport cost*), ponto de vista social (*social perception*), participação social (*social participation*) e impacto ambiental (*environmental impact*).

Cervantes et al. (2018), por sua vez, iniciam o estudo a partir da coleta de diversos indicadores na literatura, expandindo a pesquisa para o âmbito regional, nacional e internacional, além do municipal. Primeiramente, esses conjuntos de indicadores são avaliados segundo algumas características, como ano de publicação, local, quesito econômico, entre outros, e avaliados em função das forças e fraquezas para identificar as dificuldades de

aplicação de cada um, seja por problemas de descrição ou por problemas com a métrica indicada. Após essa análise, os autores desenvolveram um novo conjunto de indicadores, sendo possível identificar muitas repetições e similaridades entre a lista inicial de indicadores coletados.

Deus, Bezerra e Battistelle (2018) seguem uma estrutura de revisão estipulada da seguinte maneira: i) elaboração de um plano de revisão, ii) Condução da revisão e iii) Documentar a revisão. E para acrescentar a estrutura outros métodos foram utilizados. Os indicadores foram dispostos conforme uma análise do conteúdo dos artigos levando em consideração 3 áreas principais: ambiental, econômica e social. O documento reúne indicadores como avaliação por ciclo de vida (LCA), volume de resíduos em aterro, custo ambiental, consumo de recursos naturais, índice poluição e qualidade do ar e da água, custos operacionais de coleta, entre outros.

Qdais (2007) propõe o cálculo de um índice de efeito da comunidade (CEI), calculado a partir de três variáveis: limpeza da rua (S), presença de condições especiais (P) e número total de ruas inspecionadas (N). Para contextualizar o índice, o autor resgatou diversas informações sobre a Jordânia como quantidade e características dos resíduos sólidos, preço de tarifas e regulamentação. Ao final, o autor reúne o cálculo do índice para três cidades da Jordânia e compara o resultado com outros indicadores de desempenho adequados para a análise: número de regiões contempladas, população servida, população servida por trabalhador, população por veículo, média de contêineres por quilômetro de rota de coleta, média diária do número de contêineres por veículo de coleta, média do custo de coleta e transporte, média diária de resíduos sólidos coletados por trabalhador.

$$\sum_{i=1}^N \frac{S-P}{N}$$

Deus *et al.* (2020) também desenvolveram um indicador agregado com os seguintes componentes: resíduos sólidos gerados per capita, emissão de gás carbônico e consumo de energia por habitante e, por último, índice de qualidade de resíduos, desenvolvido pela Companhia Ambiental de São Paulo (CETESB). Cada um dos componentes foi normalizado pela subtração dos valores máximo e mínimo de cada grandeza. Por fim, o indicador agregado



pode ser calculado a partir da fórmula a seguir, onde WG, GHG, EC e WQI são os valores normalizados, respectivamente, com relação aos componentes citados anteriormente:

$$\text{Indicador Agregado} = \sqrt[4]{WG \times GHG \times EC \times WQI}$$

Bertanza, Ziliani e Menoni (2018) realizam uma revisão da literatura em busca de indicadores técnico-econômicos, na qual desconsideram os estudos que focam em quesitos sociais e ambientais. Também, estudos baseados em análises de avaliação do ciclo de vida, custo benefício e não paramétricas foram descartados por conta da alta demanda por tempo e outros recursos importantes para obter os resultados. Em seguida, os autores propõem indicadores técnico-econômicos a partir da literatura e também de especialistas de empresas. Os indicadores são divididos em três grupos diferentes: indicadores descritivos, indicadores econômicos e indicadores de desempenho. Por fim, os indicadores propostos foram aplicados em quatro cidades do norte da Itália para análises de resultados.

Armijo, Puma e Ojeda (2011) utilizam o modelo *Driving Force-Pressure-State-Impact-Response (DPSIR)* para construir uma avaliação da gestão de programas de resíduos sólidos, por meio de indicadores de desempenho, apresentados no Quadro 1. Os indicadores foram escolhidos a partir de pesquisa na literatura e com auxílio de especialistas.

Quadro 1 - Indicadores de desempenho DPSIR

<b>Critérios</b>	<b>Indicadores</b>
Custo operacional	Média de custo por tonelada
Percepção social	Porcentagem de pessoas que não estão satisfeitas com o sistema de (%)
Tratamento	Porcentagem de material recuperável (%) Total de resíduo coletado em relação ao resíduo gerado (%)
Qualidade	Média da qualificação do sistema de gestão de resíduos e serviço de coleta
Disposição final	Regulamentação mexicana NOM083ECOL
Recursos	Cobertura do serviço de coleta
Participação social	Porcentagem de residências que separam resíduos em relação ao número total de residências (%) Porcentagem da população que pretende participar da separação (%) Porcentagem de comentários a favor do sistema (%)
Financeiro	Autonomia financeira
Recuperação e tratamento	Porcentagem de resíduos recicláveis recuperados (%) Porcentagem do total de toneladas de resíduos recuperados em relação ao total de resíduos gerados (%)
Comunicação	Porcentagem de pessoas que conhecem o programa (%)
Composição	Porcentagem da composição de resíduos coletados por categoria (%)

Fonte: Armijo, Puma e Ojeda (2011)

Lahou e Alsabbagh (2019) utilizam o modelo de Armijo, Puma e Ojeda (2011) e propõem os seguintes indicadores: geração de resíduos (em toneladas), resíduos per capita por ano (toneladas/per capita/ano), resíduos por grupo de renda (% de resíduos gerados/grupo de renda), % de residências que separam os resíduos, % de pessoas dispostas a separar seus resíduos, % de pessoas que conhecem programas de gestão de resíduos sólidos, % de resíduos coletados por resíduos gerados, taxa de reciclagem (% / ano), quantidade de resíduos enviados

para aterro ou incinerador (toneladas/destino/ano), caracterização de resíduos (por exemplo, % de resíduos alimentares/ano).

Huang, Pan e Kao (2011) optaram pela elaboração de um indicador agregado (AI - *aggregated indicator*) estruturado em cinco critérios para analisar um sistema de gestão de resíduos sólidos. Os cinco critérios escolhidos são: integridade, aplicabilidade, habilidade para medir resultados, semelhança e distinguibilidade. O intuito na escolha da integridade leva em consideração se o indicador abrange características de um sistema de gestão de resíduos sólidos. Para aplicabilidade e habilidade para medir resultados, o artigo traz a necessidade dos indicadores se encaixarem na análise, sendo compatíveis com os dados de entrada. Os critérios semelhança e distinguibilidade foram escolhidos para comparação entre indicadores repetidos ou bastante correlacionados, nesse caso, apenas um desses indicadores será retido. Após a aplicação desse primeiro filtro, cinco indicadores de desempenho foram selecionados: custo por volume unitário de resíduos sólidos coletado, quantidade de resíduos sólidos coletados por unidade de tempo de coleta, quantidade de resíduos sólidos coletados por veículo de coleta, população servida por coletor e quantidade de resíduos sólidos coletados por milhas percorridas. Esses indicadores, então, foram usados para fornecer o indicador agregado.

Mendes et al. (2013), por sua vez, também estipularam indicadores de desempenho através de uma ferramenta metodológica denominada *Balanced Scorecard*. Nessa metodologia, os indicadores foram selecionados a partir de um sistema de pesos, o qual resultava em uma pontuação geral para cada indicador. Dessa forma, os indicadores que admitiram pontuação satisfatória eram selecionados e, em seguida, aplicados a uma base de dados da cidade de Loulé a fim de obter resultados estatísticos. Ao todo, o documento define um conjunto final de 24 indicadores, representados no Quadro 2, classificados pelo autor em clientes, processos internos, aprendizagem e crescimento e financeiro.

Quadro 2 - Indicadores de desempenho aplicados em Loulé

<b>Classificação</b>	<b>Indicadores</b>
Clientes	Índice de satisfação de habitantes (%)
Processos internos	Resíduos em aterro (%) Produção de resíduos sólidos per capita (kg/capita) Taxa de reciclagem (%) Limpeza dos equipamentos Resposta a reclamações e sugestões (%) Uso de capacidade de manuseio (kg/equipamento) Utilização de veículos (km/veículo) Capacidade de veículos (kg/m <sup>3</sup> ) Dimensão da equipe em tempo integral (trabalhadores/10 <sup>3</sup> .t) Capacidade para resíduos mistos (l/habitante) Uso de recursos de energia (l/t) Emissão de gases de efeito estufa (kg.CO2/t) Taxa de separação de resíduos para reciclagem (%) Taxa de recuperação de resíduos de pátio (%) Acidentes de trabalho (número de acidentes/100 trabalhadores) Ações conscientizadoras (%) Implementação de projetos (número de projetos/ano)
Aprendizagem e crescimento	Absenteísmo (%) Total de horas de treinamento (h/trabalhadores) Índice de avaliação de performance (%)
Financeiro	Custo de resíduos (euro/t) Custos totais (euro/ano) Receita anual (euro/ano)

Fonte: Mendes et al. (2013)

Teixeira et al. (2014) seguem a ideia de execução de uma metodologia aplicando indicadores de desempenho na cidade do Porto, sob os âmbitos operacional, econômico e ambiental. Os indicadores, no Quadro 3, são aplicados aos inventários de ciclo de vida e avaliação de impacto do ciclo de vida para obtenção da avaliação ambiental.

Quadro 3 - Indicadores de desempenho aplicados na cidade do Porto

<b>Indicadores</b>	<b>Unidades</b>
Distância de coleta total	Km/t
Distância de coleta efetiva	Km/t
Tempo de coleta total	h/t
Tempo de coleta efetivo	h/t
Consumo de combustível	l/t
Produtividade dos trabalhadores	t/h.trabalhador
Custo de coleta	euro/t
Custo por habitante	euro/habitante
Custo por residência	euro/residência

Fonte: A Teixeira et al. (2014)

Pereira, Curi e Curi (2018) desenvolveram um modelo para avaliar a gestão de resíduos sólidos de municípios a fim de auxiliar na tomada de decisão dos responsáveis por essa gestão. O modelo foi aplicado a sete municípios para análise de seus resultados. Os indicadores foram selecionados, representados no Quadro 4, e classificados em quatro grupos principais que abordam aspectos econômicos, sociais, ambientais e técnico-operacionais.

Quadro 4 - Indicadores de desempenho para modelo de avaliação de municípios

<b>Indicadores</b>	<b>Unidades</b>
Quantidade de resíduos sólidos urbanos per capita	(kg/habitante)/dia
Quantidade de material coletado seletivamente	kg/dia
População atendida com os serviços de coleta seletiva (cobertura per capita)	%
Existência de centros de triagem e compostagem	Sim (1), Não (0)
Taxa de aproveitamento de matéria orgânica em composto orgânico	%
Disposição final	Aterro sanitário (1), Aterro controlado (0,5), Lixão (0)
Recuperação das áreas de lixões	Sim (1), Não (0)

Quadro 4 - Continuação

<b>Indicadores</b>	<b>Unidades</b>
Fração da população municipal atendida com coleta de resíduos	%
Taxa de urbanização da população atendida pela coleta de resíduos	%
Doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado/aos resíduos	%
Existência de catadores em lixão	Sim (1), Não (0)
Existência de catadores nas ruas	Sim (1), Não (0)
Existência de recursos de captação para os catadores	Sim (1), Não (0)
Existência de cooperativa e associações de catadores	Sim (1), Não (0)
Parceria do poder público e catadores na separação dos resíduos com a existência de um cadastro de catadores	Sim (1), Não (0)
Taxa de cobertura do serviço de coleta de RSU no município	% da área da cidade
Frequência da coleta de RSU no município	Dias/semana
Quantidade de transportes utilizados na coleta dos RSU (per capita)	Unidades/ população urbana
Adequação dos transportes utilizados na coleta dos RSU à NBR13.221/2003	Adequado (1), Parcialmente adequado (0,5) e Inadequados (0)
Licenciamento ambiental	Sim (1), Não (0)
Local e condições do aterro	Adequado (1), Parcialmente adequado (0,5) e Inadequados (0)
Infraestrutura implantada no aterro	Adequado (1), Parcialmente adequado (0,5) e Inadequados (0)
Condições operacionais do aterro	Adequado (1), Parcialmente adequado (0,5) e Inadequados (0)
Existência de ações fiscalizatórias relacionadas à gestão dos RSU promovidas pelo poder público municipal	Sim (1), Não (0)
Existência do Plano Municipal de RSU	Sim, existe um plano (1), Está em fase de elaboração (0,5) e Não existe um plano (0)

Quadro 4 - Continuação

<b>Indicadores</b>	<b>Unidades</b>
Existência de uma legislação específica para a gestão dos RSU no município	Sim (1), Não (0)
Rentabilidade dos recursos humanos	Tonelada de RSU coletada/funcionário
Capacitação de funcionários	Sim (1), Não (0)
Utilização de EPIs	Adequado (1), Parcialmente adequado (0,5) e Inadequados (0)
Existência de informações sobre a gestão dos RSU sistematizadas e disponibilizadas para a população em meio digital	Sim (1), Não (0)
Existência de um canal de reclamações	Sim (1), Não (0)
Qualidade dos serviços	Nº registros/10 mil habitantes
Solicitações de serviço atendidas (eficiência)	Nenhuma (0) De 1 a 25% (0,25), De 26 a 50% (0,5), De 51 a 75% (0,75), De 76 a 100% (1,0)
Educação ambiental nas escolas	Nenhuma (0) De 1 a 25% (0,25), De 26 a 50% (0,5), De 51 a 75% (0,75), De 76 a 100% (1,0)
Sensibilização ambiental	Sim (1), Não (0)
Eficiência financeira	R\$/tonelada
Transporte de coleta seletiva e/ou coleta convencional	R\$/tonelada
Disposição final (aterro sanitário)	R\$/tonelada
Recuperação de área degradadas com RSU	R\$/tonelada
Cobrança dos usuários pelo serviço de coleta e limpeza urbana	Sim (1), Não (0)
FPM	R\$/número de habitantes
Revenda dos materiais recicláveis e do composto orgânico	R\$/kg

Fonte: Pereira, Curi e Curi (2018)

O estudo, desenvolvido por Ariza, Jiménez e Sardá (2008) em diversas praias da costa catalã, consiste na análise da quantidade e características de resíduos sólidos, a qual foi feita a partir de três contentores de resíduos tomados para amostra. O documento utiliza indicadores de desempenho como o total de resíduos sólidos gerados por visitante (kg/visitante/dia) e

densidade do resíduo ( $\text{g/m}^2/\text{dia}$  - categorizados em i) plástico, ii) papel, iii) vidro e iv) resíduos orgânicos) para realizar a análise das praias.

Turner, Williams e Kemp (2016) propõem uma análise de um sistema de gestão de resíduos sólidos a partir da combinação de duas metodologias, as quais são Análise de Fluxo de Material (MFA) e Avaliação de Ciclo de Vida (LCA). O indicador utilizado para análise única do transporte de resíduos é a distância percorrida por veículo.

Calabrò e Komilis (2019) aplicam, na cidade de Reggio, Itália, a combinação de duas avaliações, sendo uma sobre a coleta de resíduos com o uso de indicadores de desempenho qualitativos e a outra sobre a percepção dos habitantes em relação à coleta e limpeza das ruas através de questionários. Os indicadores utilizados buscam avaliar o nível de serviço de limpeza de ruas, a distância média das residências para as lixeiras, avaliar se as lixeiras atrapalham o trânsito ou causam problemas de acessibilidade, determinar o volume disponível das lixeiras a qualquer momento e avaliar a área em volta da lixeira.

Alhumid et al. (2019) propõem um novo modelo de avaliação para a gestão de resíduos sólidos urbanos e seguem os seguintes cinco passos: i) seleção e desenvolvimento de uma estrutura hierárquica, ii) Elaboração de critérios de avaliação de performance, iii) aquisição de conhecimento, iv) avaliação de desempenho usando modelagem baseada em regras *fuzzy* e v) gestão de desempenho de sistemas de gestão de resíduos sólidos urbanos. O Quadro 5 fornece o levantamento de indicadores de desempenho aplicados nesse modelo.



Quadro 5 - Indicadores de desempenho aplicados por Alhumid et al. (2019)

<b>Objetivos</b>	<b>Indicadores de Desempenho (PIs)</b>
Serviço público e participação (PSP)	Produção de resíduos sólidos per capita Cobertura do serviço de coleta Pessoas não satisfeitas com o serviço de gestão de resíduos Envolvimento da comunidade na melhoria de práticas atuais Aceitação pública dos planos de gestão de resíduos e de ações Consciência da comunidade sobre a importância de uma gestão de resíduos sólidos

Quadro 5 - Continuação

<b>Objetivos</b>	<b>Indicadores de Desempenho (PIs)</b>
Adequação e bem-estar de pessoal	Funcionários por tonelada de resíduos gerada diariamente Número de funcionários de coleta por 1000 residências Número de funcionários trabalhando em aterro por tonelada de resíduos gerada por dia Número de acidentes de trabalho Nº de faltas por funcionário Treinamento de pessoal
Resistência Ambiental (ENE)	Impacto visual Odor Temperatura do resíduo (TDS) no resíduo Sólido em suspensão total BOD no resíduo COD no resíduo Taxa BOD/COD Nitratos Concentração de fósforo Concentração de amônia
Eficácia dos ativos físicos	Presença de instalação de recuperação de material Falta de instalações adequadas de reciclagem de resíduos Frequência de limpeza de equipamentos Veículos de coleta de resíduos ineficientes

Quadro 5 - Continuação

<b>Objetivos</b>	<b>Indicadores de Desempenho (PIs)</b>
<p>Confiabilidade Operacional (OPR)</p>	<p>Quantidade de construção e demolição gerada por ano</p> <p>Segregação dos resíduos coletados para cada categoria</p> <p>Armazenamento impróprio de resíduos em aterro</p> <p>Taxa de separação de resíduos para reciclagem</p> <p>Distância média entre as lixeiras de coleta de recicláveis e as casas</p> <p>Distância média percorrida pelo veículo de coleta Nível de coleta de recicláveis dos contêineres</p> <p>% de resíduos de construção e demolição reciclados</p> <p>% de resíduos sólidos municipais reciclados</p> <p>Tonelagem total de resíduos municipais depositados em aterro</p> <p>Quantidade de resíduos descartados em aterro, além de resíduos municipais de outras fontes</p> <p>Vida útil restante</p>
<p>Conformidade de Sustentabilidade (SSC)</p>	<p>Taxa de aumento da quantidade total de geração de RSU</p> <p>Aplicação do custo do ciclo de vida (LCC) e avaliação do ciclo de vida (LCA)</p> <p>Dinâmica das instalações de tratamento</p>
<p>Viabilidade Econômica e Financeira (EFV)</p>	<p>Custo de coleta / tonelada de resíduos gerados</p> <p>Custo da eliminação de resíduos municipais por tonelada métrica</p> <p>Custo de reciclagem / tonelada de resíduos gerados</p>

Fonte: Alhumid et al. (2019)

Ferreira *et al.* (2020) desenvolveram um estudo para avaliar a ineficiência econômica dos serviços dos sistemas de gestão de resíduos sólidos em Portugal, com base em modelos de *benchmarking* de fronteira parcial (pedido-m). Para seleção dos indicadores de desempenho utilizados nesse modelo, os autores pesquisaram na literatura 195 indicadores, sendo estes específicos para certas situações e comuns. Para auxiliar a análise, classificaram os indicadores em sete grupos principais: gestão, econômicos, organização, governança e consumidores, geo-administrativos, ambiental e, por fim, sociocultural. Assim, amparados pela literatura, disponibilidade de dados e facilidade de aplicação os autores selecionaram dez indicadores de desempenho, são eles: toneladas de resíduos sólidos coletados por mil euros gastos, toneladas de resíduos seletivos por mil euros gastos, toneladas de resíduos não aproveitáveis coletados por mil euros gastos, toneladas de resíduos de aterro coletados por mil euros gastos, toneladas de resíduos recicláveis coletados por mil euros gastos, toneladas de resíduos valorizados coletados por mil euros gastos, peso dos resíduos seletivos do total coletado, peso dos resíduos não aproveitáveis do total coletado, peso dos resíduos valorizados do total coletado e peso dos resíduos recicláveis do total coletado.

Silva, Prietto e Korf (2019) realizaram a seleção de indicadores de desempenho a partir de três etapas, sendo a primeira a pesquisa e agrupamento de indicadores, a segunda a seleção dos indicadores propriamente dita (focada em processos de gestão operacional) e a terceira a aplicação dos indicadores em cidades brasileiras. A segunda etapa resultou em um total de 49 indicadores, mas, pela qualidade de informação, apenas onze indicadores foram aplicados. O Quadro 6 apresenta os onze indicadores.

Quadro 6 - Indicadores de desempenho em cidades brasileiras

<b>Indicador</b>	<b>Unidade</b>
Resíduos sólidos gerados per capita	kg/habit./ano
Resíduos urbanos gerados per capita	kg/habit./ano
Cobertura da coleta de resíduos sólidos urbanos	%
Coleta de resíduos sólidos urbanos per capita	ton/habit./ano
Cobertura da coleta seletiva porta a porta com relação à área urbana	%
Fração do resíduo coletado pela coleta seletiva	%
Destinação de resíduos para aterros sanitários	%
Fração de reciclagem de resíduos sólidos	%
Grau de autofinanciamento	%
Despesa com a gestão de resíduos <i>per capita</i>	R\$/hab/ano
Receita coletada por impostos <i>per capita</i>	R\$/hab/ano

Fonte: Silva, Prietto e Korf (2019)

Gavrilescu e Teodosiu (2016) aplicaram uma divisão de indicadores a partir de quatro grupos: sócio-econômicos, geração de resíduos sólidos, sistema de gestão de resíduos sólidos e sustentabilidade da gestão de resíduos sólidos. Os indicadores foram aplicados a um município da Romênia e estão indicados no Quadro 7.

Quadro 7 - Indicadores classificados por Gavrilescu e Teodosiu (2016)

<b>Sócio-econômicos</b>	
<b>Indicadores</b>	<b>Unidades</b>
Consumo de material	tonelada
Produto interno bruto	euros/capita
Produtividade de recursos	euros/kg
Geração de resíduos	kg/dia/capita
Cobertura à população com serviços sanitários	%
<b>Geração de resíduos sólidos</b>	
<b>Indicadores</b>	<b>Unidades</b>
Resíduos sólidos urbanos gerados	<i>t per capita</i>
Resíduos sólidos industriais gerados	<i>t per capita</i>
Geração de resíduos por categoria	%
Geração de resíduos por atividade	%
<b>Sistema de gestão de resíduos sólidos</b>	
<b>Indicadores</b>	<b>Unidades</b>
Resíduos tratados per capita	<i>t per capita</i>
Resíduos de aterro per capita	<i>t per capita</i>
Resíduos incinerados per capita	<i>t per capita</i>
Resíduos reciclados per capita	<i>t per capita</i>
Resíduos tratados (compostagem) per capita	<i>t per capita</i>
Dinâmica de instalações de tratamento	número
<b>Sustentabilidade de gestão de resíduos sólidos</b>	
<b>Indicadores</b>	<b>Unidades</b>
Indicador de auto suficiência	-
Indicadores de qualidade do ar	ton de poluentes/ano
Indicador de pegadas de carbono	kg CO2e/ton de resíduos

Fonte: Gavrilescu e Teodosiu (2016)

Paes *et al.* (2020) avaliaram cenários de emissão de gases de efeito estufa no Brasil e reuniram os seguintes indicadores de desempenho para o estudo: total de resíduos sólidos gerados, total da população servida pela coleta, total da população urbana servida pela coleta, quantidade de resíduos reciclados, quantidade enviada para aterro sanitário, quantidade para despejo a céu aberto e despejo controlado e quantidade de resíduos gerados per capita por dia. Paes *et al.* (2020) em outro documento fornece quatro fórmulas para o cálculo de custos de investimento e operação, os benefícios econômicos de energia, custo unitário de externalidades ambientais e custo social. O custo de investimento e operação é calculado através da soma da multiplicação entre o custo de tratamento unitário por tonelada de resíduos e toneladas de resíduos com a multiplicação entre o custo de transporte e toneladas de resíduos. O custo de externalidades ambientais pode ser calculado através da multiplicação do custo unitário de externalidade com as quantidades de água, energia ou emissão de gases de efeito estufa. Os benefícios econômicos são calculados através da quantidade de energia gerada pelo preço médio de energia. Já os custos sociais são calculados pela soma dos custos operacionais e de investimento com os custos de externalidades subtraídos dos benefícios econômicos.

$$\text{Custo de investimento e operação} = \text{US\$} \cdot \text{un} \times \text{ton} + \text{US\$} \cdot \text{transporte} \times \text{ton}$$

$$\text{Custo externalidades amb.} = \text{Água ou Energia ou Gases } E \cdot F \times \text{US\$} \cdot \text{externa.}$$

$$\text{Benefícios} = \text{Energia gerada} \times \text{Preço médio de energia}$$

$$\text{Custo Social} = \text{Custo Op. e Invest} - \text{Benefícios} + \text{Custo Extern.}$$

Rodrigues *et al.* (2018) utilizaram uma metodologia de auxílio à decisão multicritério construtivista para a avaliação da gestão de resíduos sólidos. Os autores assumem como construção do documento quatro passos: identificação de aspectos importantes para avaliação da gestão de resíduos sólidos urbanos, identificação de indicadores de desempenho na literatura, identificação de indicadores relevantes sob a óptica de especialistas e elaboração de um modelo de avaliação. Os indicadores de desempenho selecionados com auxílio de especialistas estão dispostos da seguinte maneira: encontrar procedimentos operacionais,

buscar ações em conjunto com a comunidade, controlar o desempenho prático da coleta, seguir o cronograma de coleta, investir em qualificação e treinamento de colaboradores, consciência ambiental e campanhas educacionais, potencializar logística reversa, identificar a vida útil dos aterros, identificar as pegadas de carbono, avaliar o impacto econômico e ambiental do transporte e adotar soluções para o uso de resíduos.

Chifari *et al.* (2017) trazem indicadores de desempenho muito parecidos com os sugeridos por outros autores. Esses indicadores são: total de resíduos gerados, resíduos gerados per capita, densidade de resíduos e porcentagem de coleta. Pereira e Fernandino (2019) desenvolvem também outros indicadores como porcentagem de população satisfeita, porcentagem de resíduos destinados à compostagem, entre outros.

Martinho *et al.* (2017) comparam dois sistemas de coleta reciclável no oeste de Portugal: um sistema misto que opera a coleta a meio fio e por *drop-off* e um sistema de operação exclusiva *drop-off*. Para realizar a avaliação de performance dos dois sistemas, Martinho *et al.* (2017) definem indicadores para reciclagem e logística da operação. O Quadro 8 fornece os indicadores utilizados pelos autores.



Quadro 8 - Indicadores de reciclagem e logística

<b>Indicadores de reciclagem</b>	
<b>Indicador</b>	<b>Unidade</b>
Resíduos gerados por dia per capita	kg/dia/pessoa
Caracterização de resíduos	%
Taxa de participação da comunidade	%
Taxa de resíduos recicláveis separados	%
Taxa de reciclagem	%
Taxa de contaminantes na coleta seletiva de resíduos	%
<b>Indicadores de logística</b>	
<b>Indicador</b>	<b>Unidade</b>
Distância efetiva percorrida pela distância total percorrida pelo veículo	%
Distância total de coleta percorrida	Km/ton
Distância efetiva de coleta	Km/ton
Tempo total de coleta	h/ton
Tempo efetivo de coleta	h/ton
Tempo efetivo de trabalho	%
Trabalhadores dedicados na coleta	trabalhor/ton
Produtividade da equipe	ton/trabalhador/h

Fonte: Martinho *et al.* (2017)

Sousa *et al.* (2019) realizam uma avaliação de desempenho de resíduos serviços de coleta e propõem indicadores de desempenho, que posteriormente são aplicados a 246 unidades de operação em Portugal. Por conta da dependência do contexto ao qual os indicadores são, em geral, aplicados, os autores definem dois indicadores mais apropriados para a análise. O primeiro indicador mensura a otimização da coleta, assim, busca calcular a taxa entre a quantidade de resíduos coletados e a quantidade de resíduos que poderiam ter sido coletados. O segundo, e último, indicador mensura a eficiência da coleta de resíduos, visando

o meio ambiente, a partir da taxa entre a quantidade de resíduos separados e a quantidade de resíduos que poderiam ter sido separados.

### 3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos seguem as sete principais etapas: (i) busca de artigos sobre o tema em bases de dados, usando palavras-chaves definidas com base em uma leitura preliminar de trabalhos sobre o tema; (ii) seleção de documentos a partir da leitura do título e resumo; (iii) análise do conteúdo dos documentos selecionados, buscando identificar indicadores usados na gestão de resíduos sólidos urbanos; (iv) consolidação dos indicadores identificados na literatura; v) avaliação da viabilidade de uso e relevância dos indicadores por meio de questionário aplicado a especialistas; vi) tratamento e análise dos resultados e vii) proposta de indicadores.

Para a etapa (i) referente a pesquisa nas bases de dados, foram usadas as bases *Scopus* e *Science Direct*, e utilizados os seguintes termos e operadores booleanos: ("*solid waste management*" OR "gestão de resíduos sólidos") AND ("*municipal solid waste*" OR "Resíduos sólidos municipais" OR "*waste collection*") AND ("*solid waste*" OR "Resíduos sólidos") AND ("performance" OR "indicator" OR "efficiency" OR "assessment"). A busca foi realizada nos campos título, resumo e palavras-chave dos documentos. Além dos termos citados, a pesquisa foi limitada em função da data de publicação, entre os anos de 2005 e 2021, com a finalidade de encontrar trabalhos atuais.

Em uma segunda etapa, dos vários documentos retornados na busca, foram selecionados 31 documentos, dentre os mais relevantes segundo a classificação da base, a partir da leitura do título e do resumo. Os 31 artigos foram integralmente lidos e analisados, quando foram eliminados mais 4 artigos, por não apresentarem conteúdo compatível com o estudo.

A etapa iii consistiu na análise do conteúdo dos artigos e identificação de indicadores de desempenho voltados à gestão de resíduos sólidos urbanos.

Na etapa iv, os indicadores identificados foram organizados em função do tipo, buscando agregar aqueles sugeridos por diferentes autores que tinham objetivo comum, como por exemplo, quantidade de resíduo gerado ou quantidade de resíduo gerado por ano .

Na etapa subsequente, buscou-se avaliar se esses indicadores eram adequados à realidade da cidade de Florianópolis em termos de viabilidade de aplicação e relevância perante especialistas da gestão de resíduos da cidade. Para tanto, foi construído um questionário com um 19 (dezenove) grupos de indicadores, dentre os identificados, para ser aplicado a especialistas. O questionário completo está apresentado no Apêndice B. A

aplicação do questionário foi feita usando a ferramenta *Google Forms* e o convite foi enviado para 10 profissionais que atuam em cargos técnicos na Autarquia de Melhoramentos da Capital Comcap, autarquia responsável pela gestão de resíduos sólidos na cidade de Florianópolis, para avaliação em função da relevância e viabilidade de uso do indicador. Por fim, nas etapas vi e viii, as respostas obtidas foram tratadas usando gráficos e tabelas e análises e discussões sobre a relevância e viabilidade de adoção dos indicadores são apresentados, sendo proposto um conjunto de indicadores para a autarquia responsável pela gestão de resíduos sólidos na cidade de Florianópolis.

### 3.1. ANÁLISE DOS ARTIGOS

Os 27 artigos selecionados, por apresentarem indicadores para a gestão de resíduos sólidos, podem ser classificados em dois grupos propostos pelo autor. O primeiro grupo traz artigos que apresentam revisões e análise da literatura sobre o tema. O segundo grupo, por sua vez, propõem indicadores e apresentam aplicações desses na gestão de resíduos em diversos locais.

O primeiro grupo compreende quatro trabalhos, que incluem estudos baseados na teoria e destacam indicadores presentes na literatura, relacionados à gestão de resíduos sólidos urbanos. Alguns desses trabalhos apresentam modelos de indicadores para aplicação ou estudo em locais que se enquadrem nas características abordadas na análise.

O segundo grupo compreende vinte e três artigos que apresentam, em sua maioria, estudos de casos, no qual aplicam indicadores propostos tanto quantitativos quanto qualitativos.

Esses artigos foram utilizados também na revisão teórica do presente estudo. O Quadro 9 apresenta os grupos citados anteriormente e os respectivos autores.

Quadro 9 - Grupos de artigos e os respectivos autores

<b>Grupos de artigos</b>	<b>Autores</b>
Revisões e análise da literatura	(CONKE, NASCIMENTO, 2018); (SANJEEVI, SHAHABUDEEN, 2015); (CERVANTES et al., 2018); (DEUS, BEZERRA, BATTISTELLE, 2018)
Indicadores e aplicações na gestão de resíduos	(QDAIS, 2007); (DEUS et al., 2020); (BERTANZA, ZILIANI, MENONI, 2018); (ARMIJO, PUMA, OJEDA, 2011); (LAHOU, ALSABBAGH, 2019); (HUANG, PAN, KAO, 2011); (MENDES et al., 2013); (TEIXEIRA et al., 2014); (PEREIRA, CURI, CURI, 2018); (ARIZA, JIMÉNEZ, SARDÁ, 2008); (TURNER, WILLIAMS, KEMP, 2016); (CALABRÒ, KOMILIS, 2019); (ALHUMID et al., 2019); (FERREIRA et al., 2020); (SILVA, PRIETTO, KORF, 2019); (GAVRILESCU, TEODOSIU, 2016); (PAES et al., 2020); (PAES et al., 2020); (RODRIGUES et al., 2018); (CHIFARI et al., 2017); (PEREIRA, FERNANDINO, 2019); MARTINHO et al., 2017); (SOUSA et al., 2019)

Fonte: Autor (2021)

### 3.2. CONSOLIDAÇÃO DOS INDICADORES IDENTIFICADOS NA LITERATURA

A consolidação de todos os indicadores de desempenho levantados na literatura é apresentada neste trabalho no Apêndice A. O Quadro 10 apresenta alguns exemplos dos indicadores citados nos diversos trabalhos, da base de artigos considerada. A organização dos indicadores está embasada na descrição e significado dos mesmos e para cada grupo, pois há diferentes métricas sugeridas na literatura.

Assim, por exemplo, indicador relacionado à quantidade de resíduos recuperáveis ou recicláveis pode ser medido em função da quantidade de material coletado seletivamente ou como porcentagem do total de toneladas de resíduos recuperados em relação ao total de resíduos gerados, etc. Os vários indicadores foram classificados pelo autor, segundo categorias encontradas na literatura, em 23 grupos, além do grupo “Outros”.

Quadro 10 - Exemplos de indicadores de desempenho na gestão de resíduos e métricas sugeridas

<b>Indicador</b>	<b>Métricas sugeridas para o indicador na literatura</b>
Quantidade de resíduos sólidos gerados	Métricas: Resíduos sólidos urbanos gerados, Resíduos sólidos industriais gerados
Quantidade de resíduos sólidos coletados	Total de resíduo coletado em relação ao resíduo gerado (%), Taxa entre a quantidade de resíduos coletados e a quantidade de resíduos que poderiam ter sido coletados
Quantidade de resíduos sólidos coletados em relação a outras unidades	Quantidade de resíduos sólidos coletados por unidade de tempo de coleta, Quantidade de resíduos sólidos coletados por milhas percorridas, Toneladas de resíduos sólidos coletados por mil euros gastos
Quantidade de resíduos recuperáveis ou recicláveis	Porcentagem de material recuperável (%), Segregação dos resíduos coletados para cada categoria, Toneladas de resíduos seletivos por mil euros gastos, Caracterização de resíduos
Quantidade de resíduos recicláveis coletados	Taxa de separação de resíduos para reciclagem (%), Quantidade de material coletado seletivamente, Revenda dos materiais recicláveis e do composto orgânico, Porcentagem do total de toneladas de resíduos recuperados em relação ao total de resíduos gerados (%)
Qualidade dos resíduos recicláveis coletados	Porcentagem da composição de resíduos coletados por categoria (%), Caracterização de resíduos, Índice de qualidade de resíduos

Quadro 10 - Continuação

<b>Indicador</b>	<b>Métricas sugeridas para o indicador na literatura</b>
Quantidade de resíduos municipais depositados em aterro	Volume de resíduos em aterro, Quantidade de resíduos enviados para aterro ou incinerador, Resíduos em aterro (%)
Separação de resíduos pela população	Porcentagem de residências que separam resíduos em relação ao número total de residências (%), Porcentagem da população que pretende participar da separação (%)
Cobertura de serviço de coleta, inclusive em relação a equipamentos	Número de regiões contempladas, população servida, população servida por trabalhador, população por veículo, Cobertura do serviço de coleta
Capacidade dos equipamentos de coleta de resíduos	Média diária do número de contêineres por veículo de coleta, Quantidade de resíduos sólidos coletados por veículo de coleta, Capacidade de veículos (kg/m <sup>3</sup> )
Custo de coleta e transporte	Média do custo de coleta e transporte, Custo de coleta, Custo de transporte, Custos operacionais de coleta, Média de custo por tonelada
Produtividade de funcionários na coleta e transporte	Média diária de resíduos sólidos coletados por trabalhador, Índice de avaliação de performance (%), Produtividade dos trabalhadores (t/h.trabalhador)
Ativos	Falta de instalações adequadas de reciclagem de resíduos, Presença de instalação de recuperação de material, Dinâmica das instalações de tratamento, Recuperação das áreas de lixões, Licenciamento ambiental, Local e condições do aterro, Infraestrutura implantada no aterro
Distância percorrida e/ou tempo de coleta e transporte	Média de contêineres por quilômetro de rota de coleta, Utilização de veículos, Distância de coleta total, Distância de coleta efetiva, Distância percorrida por veículo, Distância média das residências para as lixeiras
Condições Laborais	Acidentes de trabalho, Número de acidentes de trabalho, Nº de faltas por funcionário, Treinamento de pessoal, Absenteísmo (%), Total de horas de treinamento, Total de horas de treinamento, investir em qualificação e treinamento de colaboradores
Envolvimento da comunidade	Participação social, Envolvimento da comunidade na melhoria de práticas atuais, Buscar ações em conjunto com a comunidade, Taxa de participação da comunidade

Quadro 10 - Continuação

<b>Indicador</b>	<b>Métricas sugeridas para o indicador na literatura</b>
Avaliação dos serviços pela comunidade	Ponto de vista social, Porcentagem de pessoas que não estão satisfeitas com o sistema de (%), Porcentagem de comentários a favor do sistema (%), Porcentagem de pessoas que conhecem o programa (%)
Saúde pública	Doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado/aos resíduos
Inclusão social	Existência de catadores em lixão, Existência de catadores nas ruas, Existência de recursos de captação para os catadores, Existência de cooperativa e associações de catadores, Parceria do poder público e catadores na separação dos resíduos com a existência de um cadastro de catadores
Comunicação com a comunidade	Ações conscientizadoras (%), Sensibilização ambiental, Cobrança dos usuários pelo serviço de coleta e limpeza urbana, Consciência ambiental e campanhas educacionais
Poluição	Impacto ambiental, Consumo de recursos naturais, índice poluição e qualidade do ar e da água, Indicadores de qualidade do ar, Indicador de pegadas de carbono
Cumprimento às normas ou <i>Compliance</i>	Regulamentação mexicana NOM083ECOL, Adequação dos transportes utilizados na coleta dos RSU à NBR13.221/2003, Existência de ações fiscalizatórias relacionadas à gestão dos RSU promovidas pelo poder público municipal, Existência do Plano Municipal de RSU, Existência de uma legislação específica para a gestão dos RSU no município
Financeiro	Autonomia Financeira, Eficiência financeira, Revenda dos materiais recicláveis e do composto orgânico, Grau de autofinanciamento, Despesa com a gestão de resíduos per capita, Receita coletada por impostos per capita, Produto interno bruto
Outros	Ciclo de vida (LCA), Consumo de energia por habitante e índice de qualidade de resíduos, Média da qualificação do sistema de gestão de resíduos e serviço de coleta, Limpeza dos equipamentos, Dimensão da equipe em tempo integral, Uso de recursos de energia, Implementação de projetos, Custo de resíduos, Custos totais

Fonte: Autor (2021)



### 3.3. AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE DE USO E RELEVÂNCIA DOS INDICADORES POR ESPECIALISTAS

A avaliação da viabilidade de uso e da relevância dos indicadores foi realizada por meio de aplicação de questionário a especialistas que trabalham com a gestão de resíduos sólidos urbanos. Na elaboração do questionário, o principal objetivo consistiu em identificar quais indicadores são relevantes e, ao mesmo tempo, viáveis de serem adotados pela organização responsável pela coleta de resíduos da cidade de Florianópolis para avaliar os serviços de coleta.

Com base no trabalho desenvolvido por Alhumid et al. (2019), parte-se da premissa que os indicadores a serem adotados devem ser: i) relevantes, ou seja, o indicador deve ser importante para a avaliação de desempenho do sistema de gestão de resíduos sólidos; ii) mensuráveis, deve haver dados disponíveis, ou de fácil obtenção, de forma a tornar viável sua adoção pela empresa; iii) compreensível, deve ser compreendido pelos colaboradores e pelos cidadãos.

Assim, o questionário aplicado para a pesquisa propõe a avaliação dos indicadores consolidados diante de duas características importantes: relevância e viabilidade. Com relação à relevância, os entrevistados devem avaliar o indicador conforme sua percepção de importância na aplicação e no impacto estratégico. A viabilidade, por sua vez, remete à facilidade da obtenção dos dados aos quais o indicador utiliza para mensuração, dessa forma, os entrevistados avaliam conforme o grau de disponibilidade desses dados. No que diz respeito a compreensão do significado, o questionário apresenta uma descrição e exemplos de métricas para os indicadores em questão, a fim de que todos os respondentes tivessem o mesmo entendimento sobre os mesmos.

Os indicadores foram avaliados usando uma escala tipo Likert, de 5 níveis, que consideram irrelevante, o nível mais baixo, e imprescindível, o nível mais alto da escala. Da mesma forma, a viabilidade de adoção do indicador, considera inviável (muito difícil de obter dados) como nível mais baixo e viável (há dados disponíveis) como nível mais alto da escala.

As diferentes perspectivas, segundo as quais foram identificados os indicadores, também tem uma relação com o perfil dos oito entrevistados – os quais atuam em diferentes setores da autarquia desempenhando atividades relacionadas a aspectos técnicos, sociais ou ambientais.

O perfil profissional de atuação dos correspondentes é apresentado no Quadro 11.

Quadro 11 - Perfil profissional de atuação dos especialistas da Comcap

<b>Cargo</b>	<b>Formação acadêmica</b>	<b>Tempo de trabalho na autarquia</b>
<i>Data Analytics</i>	Administração	1 ano
Departamento de planejamento, gestão e projetos	Técnica em saneamento	8 anos
Coleta Seletiva	Engenharia Civil - Especialista	2 anos
Área Técnica	Engenheiro Mecânico	35 anos
Gestão e Coleta de resíduos	Engenheiro Sanitarista e Ambiental	13 anos
Centro de Valorização Resíduos, no setor técnico, técnico de edificações	Administração de empresa	33 anos
Departamento técnico	Engenheira sanitaria	10 anos
Gerente técnico administrativo (Divisão centro de valorização de resíduos)	Turismo - mestrado em arquitetura e urbanismo	8 anos

Fonte: Autor (2021)

### 3.4. RESULTADOS

Os dados obtidos a partir da aplicação do questionário permitem identificar quais indicadores (ou grupos de indicadores) são considerados mais relevantes e viáveis de serem adotados na visão dos especialistas consultados.

A Tabela 1 apresenta os percentuais de respostas dos especialistas em relação ao grau de relevância e ao grau de viabilidade dos indicadores consolidados, assim como as Figuras 1 e 2.

Os indicadores de desempenho que estão diretamente relacionados à operação de coleta – tais como, quantidade de resíduos sólidos coletados, quantidade de resíduos sólidos coletados em relação a outras unidades, quantidade de resíduos municipais depositados em aterro, cobertura de serviço de coleta, inclusive em relação a equipamentos, tempo de coleta e transporte, quantidade de resíduos recicláveis coletados e qualidade dos resíduos recicláveis coletados - conforme a avaliação dos especialistas, apresentam grau de relevância alto, visualizadas percentualmente na Figura 1.

Os indicadores de desempenho relacionados à quantidade de resíduos gerados, quantidade de resíduos sólidos coletados e quantidade de resíduos recuperáveis ou recicláveis, também são considerados relevantes.

Tabela 1 - Resultados da avaliação dos especialistas

Indicadores	Critérios	Irrelevante/ Inviável				Imprescindível/ Viável
		0	12,5	25	37,5	
1. Quantidade de resíduos sólidos gerados	Relevância	0	0	0	12,5	87,5
	Viabilidade	0	12,5	12,5	0	75
2. Quantidade de resíduos sólidos coletados	Relevância	0	0	0	12,5	87,5
	Viabilidade	0	0	0	37,5	62,5
3. Quantidade de resíduos sólidos coletados em relação a outras unidades	Relevância	0	0	12,5	50	37,5
	Viabilidade	0	12,5	37,5	12,5	37,5
4. Quantidade de resíduos recuperáveis ou recicláveis	Relevância	0	0	0	12,5	87,5
	Viabilidade	0	25	25	25	25
5. Quantidade de resíduos municipais depositados em aterro	Relevância	0	0	0	25	75
	Viabilidade	0	0	12,5	25	62,5
6. Separação de resíduos pela população	Relevância	0	0	12,5	25	62,5
	Viabilidade	0	62,5	12,5	0	25
7. Cobertura de serviço de coleta, inclusive em relação a equipamentos	Relevância	0	0	12,5	25	62,5
	Viabilidade	0	0	37,5	37,5	25
8. Capacidade dos equipamentos de coleta de resíduos	Relevância	0	0	25	25	50
	Viabilidade	0	12,5	12,5	12,5	62,5
9. Produtividade de funcionários na coleta e transporte	Relevância	0	0	0	37,5	62,5
	Viabilidade	0	12,5	37,5	37,5	12,5
10. Tempo de coleta e transporte	Relevância	0	0	0	37,5	62,5
	Viabilidade	0	12,5	12,5	37,5	37,5
11. Quantidade de resíduos recicláveis coletados	Relevância	0	0	0	50	50
	Viabilidade	12,5	0	12,5	37,5	37,5

Tabela 1 - Continuação

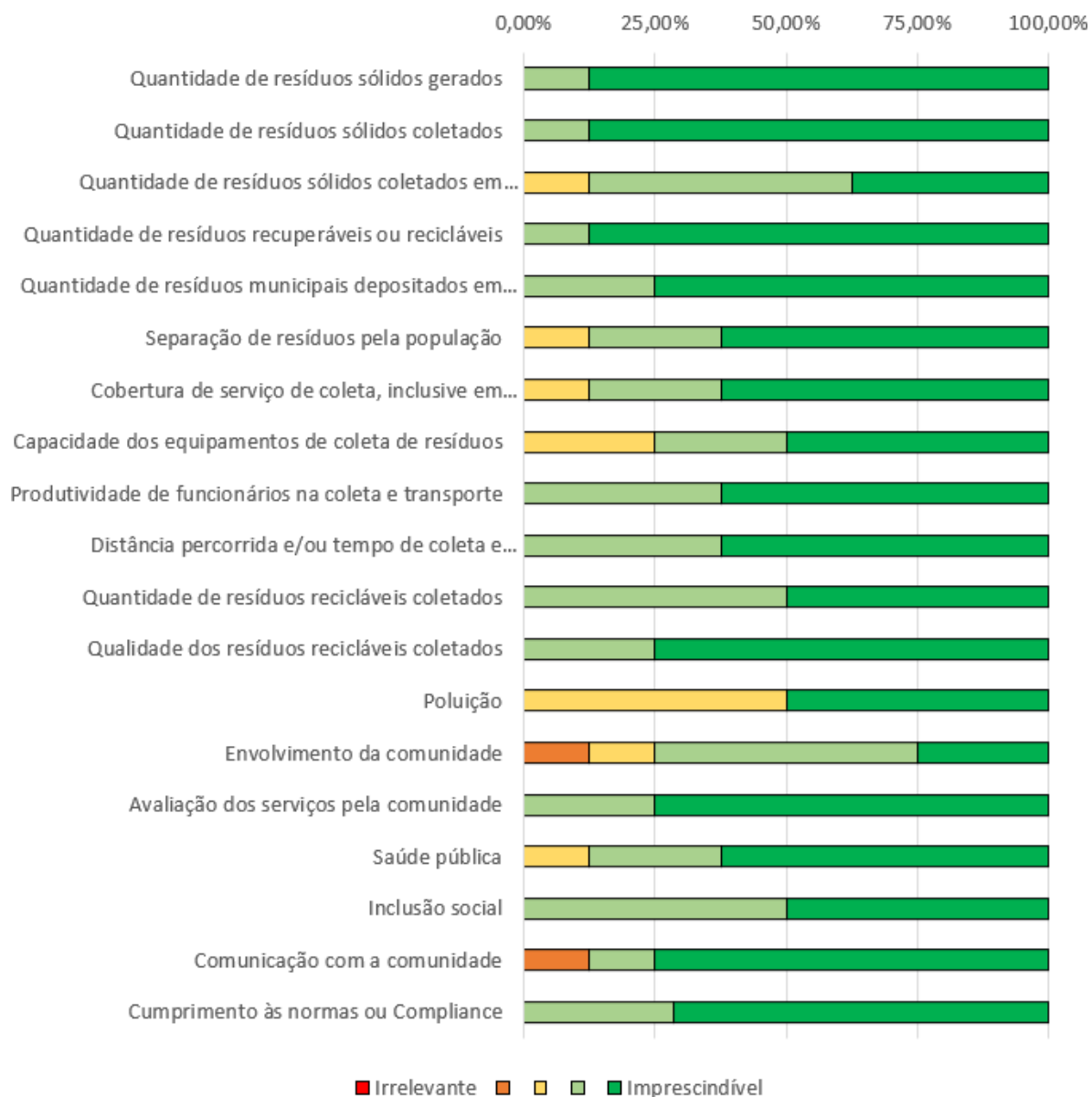
Indicadores	Critérios	Irrelevante/ Inviável			Imprescindível/ Viável	
12. Qualidade dos resíduos recicláveis coletados	Relevância	0	0	0	25	75
	Viabilidade	0	12,5	37,5	25	25
13. Poluição	Relevância	0	0	50	0	50
	Viabilidade	12,5	37,5	12,5	37,5	0
14. Envolvimento da comunidade	Relevância	0	12,5	12,5	50	25
	Viabilidade	0	25	50	12,5	12,5
15. Avaliação dos serviços pela comunidade	Relevância	0	0	0	25	75
	Viabilidade	0	12,5	37,5	25	25
16. Saúde pública	Relevância	0	0	12,5	25	62,5
	Viabilidade	0	75	0	12,5	12,5
17. Inclusão social	Relevância	0	0	0	50	50
	Viabilidade	0	12,5	62,5	12,5	12,5
18. Comunicação com a comunidade	Relevância	0	12,5	0	12,5	75
	Viabilidade	0	0	37,5	12,5	50
19. Cumprimento às normas ou Compliance	Relevância	0	0	0	28,6	71,4
	Viabilidade	0	0	25	50	25

Fonte: Autor (2021)

Na Figura 1 e Tabela 1, pode-se verificar o indicador de desempenho que mensura a Capacidade dos equipamentos de coleta de resíduos é avaliado pelos especialistas como relevante, assim como o grupo de indicadores relacionados à operação de coleta de resíduos. Na Figura 1 e na Tabela 1, pode-se encontrar as avaliações dos especialistas quanto ao grau de relevância dos indicadores de desempenho destinados aos funcionários da autarquia, dado como relevantes e esses indicadores são: produtividade dos funcionários na coleta e transporte e inclusão social.

Os indicadores relacionados à separação de resíduos pela população, envolvimento da comunidade, avaliação dos serviços pela comunidade e comunicação com a comunidade são os avaliados pelos especialistas como menos relevantes, sendo percentualmente notados na Tabela 1 e na Figura 1. Os indicadores relacionados à Poluição e ao Cumprimento das normas ou Compliance também são avaliados como relevantes com notas altas para esse quesito.

Figura 1 - Avaliação dos especialistas quanto à relevância dos indicadores



Fonte: Autor (2021)

No geral, de acordo com os especialistas, pode-se observar que todos os dezenove indicadores de desempenho avaliados são relevantes. No entanto, quando se analisa a avaliação perante a viabilidade, o cenário é diferente indicando uma dificuldade de obtenção ou dificuldade relacionada à disponibilidade de dados.

Conforme a Tabela 1 e a Figura 2, indicadores de desempenho referentes à quantidade de resíduos e operação de coleta foram avaliados como viáveis pela maioria dos especialistas, exceto o indicador quantidade de resíduos sólidos coletados em relação a outras

unidades, que é considerado viável pela metade dos especialistas, enquanto o restante avaliou como pouco viável.

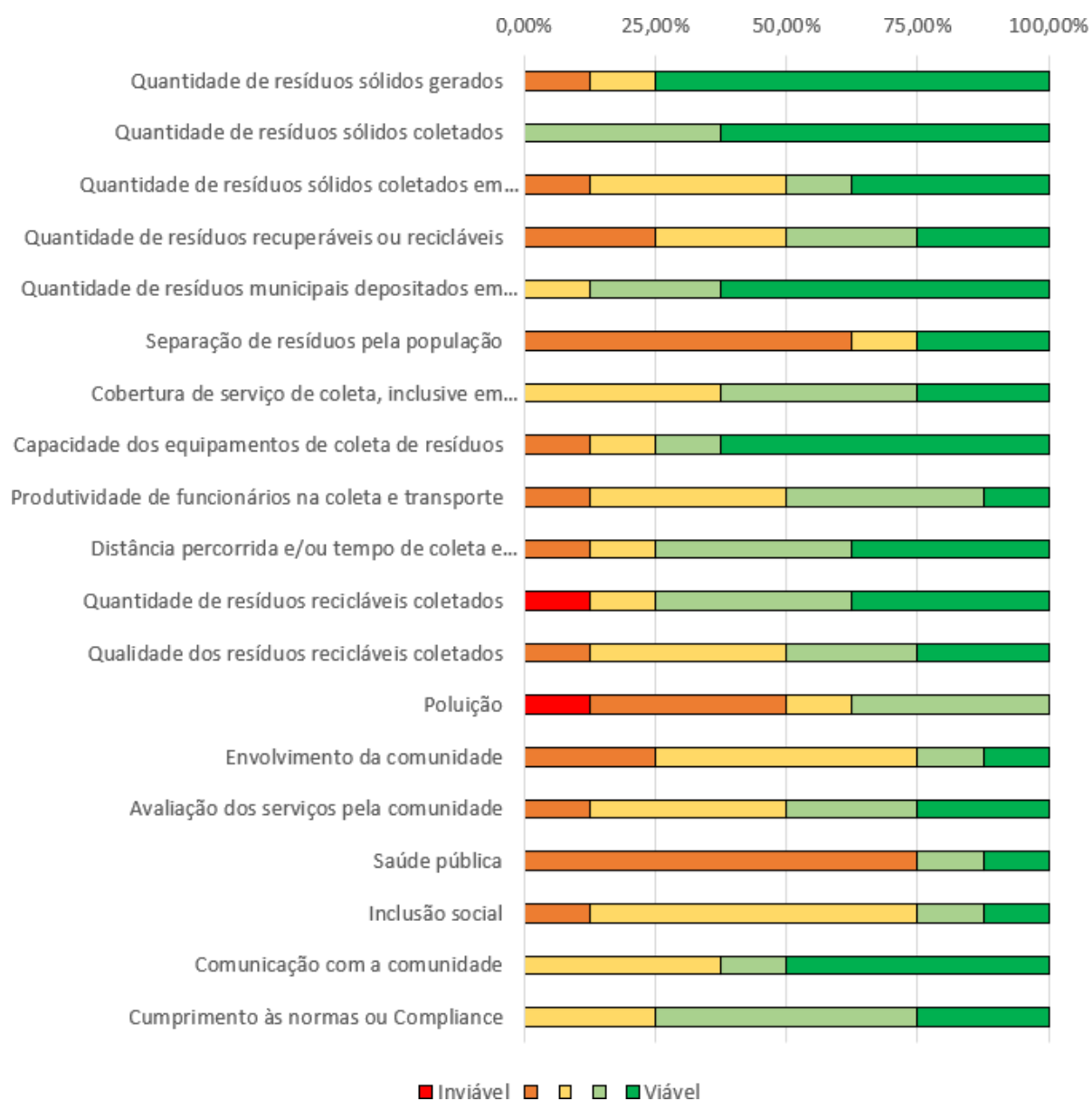
Adequado aos indicadores relacionados à geração de resíduos, o indicador quantidade de resíduos sólidos gerados foi avaliado pela maioria dos especialistas como viável, ou seja, há dados disponíveis sobre esses valores. O indicador “quantidade de resíduos recuperáveis ou recicláveis” foi avaliado como pouco viável por metade dos especialistas, enquanto a outra metade avaliou como viável a aplicação. Ambos indicadores podem ter suas avaliações observadas na Tabela 1 e na Figura 2.

Na Figura 2 e na Tabela 1, pode-se encontrar as avaliações dos especialistas para o indicador de capacidade dos equipamentos de coleta conforme o grau de viabilidade e este indicador foi avaliado como viável pela maioria dos especialistas. No conjunto de indicadores de desempenho, referente aos funcionários da autarquia, o indicador Produtividade de funcionários na coleta e transporte, Tabela 1 e Figura 2, apresentou avaliação por metade dos especialistas como viável, enquanto a outra metade avaliou como pouco viável.

O indicador inclusão social pode ser encontrado na Tabela 1 e Figura 2 e foi avaliado pelos especialistas como pouco viável.

Os indicadores mais relacionados às atividades desempenhadas pela população na gestão de resíduos, como separação de resíduos pela população e envolvimento da comunidade são os avaliados como menos viáveis, Tabela 1 e Figura 2. Por outro lado, os indicadores de avaliação dos serviços pela comunidade e Comunicação com a comunidade foram considerados viáveis, Tabela 1 e Figura 2, sendo o primeiro avaliado como tal por metade dos especialistas.

Figura 2 - Avaliação dos especialistas quanto à viabilidade de uso



Fonte: Autor (2021)

Os indicadores relacionados à Poluição e ao Cumprimento das normas ou Compliance, por sua vez, foram avaliados como menos viáveis, ou seja, a obtenção de dados em relação a esses aspectos são mais difíceis, conforme a Tabela 1 e Figura 2.



### 3.5. CONSIDERAÇÕES GERAIS E PROPOSTA DE INDICADORES

Conforme mostram os resultados, os indicadores avaliados como mais relevantes e mais viáveis em termos de obtenção de dados coincidem com os mais citados na literatura. De fato, a autarquia utiliza esses indicadores no planejamento das operações de coleta e dimensionamento dos equipamentos e pessoal. Por conta de os especialistas trabalharem diretamente com esses indicadores, os resultados podem sofrer influência da rotina de análise padrão da Comcap, bem como dos indicadores utilizados de costume. Os indicadores de quantidade de resíduos coletados, quantidade de resíduos encaminhados a aterros são exemplos de indicadores considerados relevantes e viáveis.

Por outro lado, indicadores que precisam ser obtidos por meio de pesquisas de campo ou cujas métricas são, principalmente, de natureza subjetiva são consideradas pelos especialistas como menos viáveis de se obter. De fato, indicadores como envolvimento com a comunidade, saúde pública e inclusão social, precisam ser melhor definidas e compreendidos e mesmo na literatura são menos abordados e as métricas são bem diversas. Pode-se citar o caso de envolvimento com a comunidade, cujas métricas sugeridas incluem: ações conscientizadoras (%), sensibilização ambiental, cobrança dos usuários pelo serviço de coleta e limpeza urbana e consciência ambiental e campanhas educacionais.

Dessa forma, conforme os resultados da pesquisa por meio de avaliação por questionário, a proposta dos indicadores deste presente trabalho para a autarquia responsável pela gestão de resíduos sólidos da cidade de Florianópolis dá-se, primeiramente, pela combinação das avaliações segundo os graus de relevância e viabilidade, ou seja, os indicadores propostos apresentam as seguintes características: relevante e viável.

O Quadro 12 apresenta a relação dos indicadores de desempenho considerados mais viáveis e relevantes segundo avaliação dos especialistas atuantes na gestão da autarquia responsável na cidade de Florianópolis.

Quadro 12- Indicadores de desempenho preliminarmente propostos

<b>Indicadores</b>
Quantidade de resíduos sólidos gerados
Quantidade de resíduos sólidos coletados
Quantidade de resíduos sólidos coletados em relação a outras unidades
Quantidade de resíduos recuperáveis ou recicláveis
Quantidade de resíduos municipais depositados em aterro
Cobertura de serviço de coleta, inclusive em relação a equipamentos
Capacidade dos equipamentos de coleta de resíduos
Produtividade de funcionários na coleta e transporte
Tempo de coleta e transporte
Quantidade de resíduos recicláveis coletados
Qualidade dos resíduos recicláveis coletados
Avaliação dos serviços pela comunidade
Comunicação com a comunidade
Cumprimento às normas ou Compliance

Fonte: Autor (2021)

Assim, percebe-se como a gestão de resíduos sólidos pode apresentar uma estrutura qualificada, por conta do detalhamento proporcionado pela mensuração dos indicadores de desempenho. Os indicadores relacionados à operação de coleta foram avaliados como relevantes e viáveis, apontando a importância desse aspecto para a gestão em Florianópolis. A exemplo disso, indicadores como Quantidade de resíduos sólidos coletados e Quantidade de resíduos municipais depositados em aterro foram bem avaliados pelos especialistas tanto em relevância quanto em viabilidade. Os indicadores referentes à geração de resíduos sólidos, recicláveis ou não, são avaliados da mesma maneira, dessa forma, foram selecionados.

Os especialistas também colocaram o indicador de Capacidade dos equipamentos de coleta de resíduos como bem cotado nos critérios de avaliação, visto que os equipamentos fazem parte da rotina da operação de coleta.

Vale ressaltar que a maior parte desses indicadores são atualmente utilizados pela autarquia e, inclusive, são atualizados diariamente. No entanto, os indicadores de desempenho relacionados à produtividade dos funcionários na coleta e no transporte, embora considerados relevantes, ainda não são adotados na Comcap.

Da mesma forma, indicadores relacionados à inclusão social, assim como indicadores que envolvem a população não foram selecionados por conta da dificuldade de definir métricas adequadas quanto em obter dados, dentre os quais: separação de resíduos pela população, envolvimento da comunidade e Saúde pública. Além desses, indicadores relacionados à Poluição não foram selecionados para a proposta, pois os especialistas avaliaram como difícil a obtenção de dados.

Embora não adotado pela Comcap, o indicador de Cumprimento às normas ou *Compliance* foi considerado relevante e viável, sendo assim escolhido para a proposta.

Ao analisar as avaliações dos especialistas, encontra-se o conhecimento prático referente à relevância e aplicabilidade dos indicadores de desempenho para gestão de resíduos sólidos. Por outro lado, a partir de estudos em diversos contextos e países diferentes é fornecido embasamento científico para a definição de quais indicadores de desempenho podem ser úteis para apoiar decisões que esses especialistas precisam tomar no dia a dia. Sendo assim, o Quadro 13 apresenta os indicadores de desempenho selecionados para a proposta final para a gestão de resíduos sólidos em Florianópolis.

Quadro 13 - Proposta de indicadores de desempenho

<b>Indicadores</b>
Quantidade de resíduos sólidos gerados
Quantidade de resíduos sólidos coletados
Quantidade de resíduos sólidos coletados em relação a outras unidades
Quantidade de resíduos recuperáveis ou recicláveis
Quantidade de resíduos municipais depositados em aterro
Cobertura de serviço de coleta, inclusive em relação a equipamentos
Capacidade dos equipamentos de coleta de resíduos
Produtividade de funcionários na coleta e transporte
Tempo de coleta e transporte
Quantidade de resíduos recicláveis coletados
Qualidade dos resíduos recicláveis coletados
Avaliação dos serviços pela comunidade
Comunicação com a comunidade
Cumprimento às normas ou Compliance

Fonte: Autor (2021)

Como sugestão de métricas para os indicadores de Comunicação com a comunidade, Avaliação dos serviços pela comunidade e Cumprimento às normas ou Compliance, a avaliação a partir do número de visitas ao portal digital de informações dos serviços prestados e normas cumpridas e, também, avaliações feitas pela comunidade pelo mesmo canal. Com o acompanhamento desse número de visitas, é possível avaliar se a comunicação com a comunidade é eficaz, bem como a transparência através do fornecimento dos dados da gestão. Conforme o número de visitas cresce, maior o alcance da comunicação com os habitantes. As avaliações qualitativas da população, enquanto ocorre o acesso ao portal, permitem à autarquia gestora de resíduos conhecer os pontos deficientes de seu serviço e, assim, está apta a melhorias.

#### 4. CONCLUSÃO

A gestão de resíduos sólidos urbanos é um tema profundo ao qual cabem pesquisas, observações e diagnósticos ao contexto estudado, ao passo que diversas variáveis impactam os resultados dessas análises, assim como os envolvidos nesse contexto: população, empresas, autoridades governamentais.

Dessa maneira, este presente trabalho buscou propor um conjunto de indicadores de desempenho adequados ao sistema de gestão de resíduos sólidos urbanos para a cidade de Florianópolis, sendo este o objetivo geral alcançado ao final do estudo.

Quanto aos objetivos específicos, também foram alcançados. Em um primeiro momento, foi realizada a revisão teórica do tema, identificando e classificando indicadores de desempenho usados na avaliação da eficiência e eficácia dos sistemas de gestão de resíduos sólidos urbanos em estudos propostos na literatura. Após identificação e classificação, foi feita a consolidação dos indicadores conforme conjuntos mais abrangentes de atuação. Em seguida, foi possível avaliá-los através de um questionário no qual são avaliadas a relevância e a viabilidade desses indicadores a partir dos especialistas da autarquia responsável pela gestão de resíduos sólidos. Por fim, foi realizada uma análise dos resultados do questionário respondido e proposto um conjunto de quatorze indicadores de desempenho adequados à Comcap e ao contexto da cidade.

Conforme descrito na seção de Considerações gerais e Proposta de indicadores, o processo de avaliação dos especialistas da Comcap pode sofrer influência pelas análises já feitas pela organização com os indicadores utilizados no dia a dia da gestão. Dessa forma, o presente trabalho apresenta essa limitação quanto aos especialistas não serem independentes à gestão de resíduos na cidade de Florianópolis.

Faz-se necessário, então, ressaltar que, mesmo não sendo consultados especialistas independentes ao contexto do estudo, os indicadores de desempenho propostos recebem o embasamento da literatura e do conhecimento prático de atuação na gestão de resíduos sólidos.

Como sugestão para trabalhos futuros, a aplicação do conjunto de indicadores proposto a outras organizações, governamentais ou não, para prolongar análises sobre o tema e auxiliar em decisões mais inteligentes para a gestão e para o meio ambiente, bem como verificar se o conjunto de indicadores se faz aplicável e replicável em outros estudos. Também é interessante realizar análises quanto à eficácia dos indicadores a fim de, quantitativamente,

chegar ao conjunto mais adequado à situação da Comcap ou do local do objeto do estudo em questão, já que as características observadas são diferentes do presente trabalho. Por fim, seria interessante que especialistas independentes ao contexto desse trabalho pudessem avaliar o conjunto de indicadores de desempenho propostos.

## 5. REFERÊNCIAS

ALHUMID, Hatem Abdulaziz et al. Performance indicators for municipal solid waste management systems in Saudi Arabia: selection and ranking using fuzzy ahp and promethee ii. *Arabian Journal Of Geosciences*, [S.L.], v. 12, n. 15, p. 1-23, ago. 2019. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12517-019-4645-0>.

ALHUMID, Hatem et al. Performance Assessment Model for Municipal Solid Waste Management Systems: development and implementation. *Environments*, [S.L.], v. 6, n. 2, p. 19-45, 10 fev. 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/environments6020019>.

ARIZA, Eduard; JIMÉNEZ, José A.; SARDÁ, Rafael. Seasonal evolution of beach waste and litter during the bathing season on the Catalan coast. *Waste Management*, [S.L.], v. 28, n. 12, p. 2604-2613, dez. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2007.11.012>.

ARMIJO, Carolina; PUMA, Adriana; OJEDA, Sara. A set of indicators for waste management programs. *Iacsit Press*. Singapore, p. 144-148. 2011

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Resíduos sólidos – Classificação. 2 ed. Rio de Janeiro, 2004.

A TEIXEIRA, Carlos et al. Evaluation of operational, economic, and environmental performance of mixed and selective collection of municipal solid waste: porto case study. *Waste Management & Research*, [S.L.], v. 32, n. 12, p. 1210-1218, 4 nov. 2014. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/0734242x14554642>.

BERTANZA, G.; ZILIANI, E.; MENONI, L.. Techno-economic performance indicators of municipal solid waste collection strategies. *Waste Management*, [S.L.], v. 74, p. 86-97, abr. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2018.01.009>.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasil, Capítulo II, Art.3o.

CALABRÒ, Paolo S.; KOMILIS, Dimitrios. A standardized inspection methodology to evaluate municipal solid waste collection performance. *Journal Of Environmental Management*, [S.L.], v. 246, p. 184-191, set. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.142>.

CAETANO, Ana Carolina Gonçalves; LUNA, Mônica Maria Mendes. ALTERNATIVAS DE SISTEMAS DE COLETA DE RESÍDUOS DE EMBALAGENS DE VIDRO E SUAS IMPLICAÇÕES: O CASO DE FLORIANÓPOLIS. *Unr Editora*, [s. l], v. -, n. -, p. 201-227, jan. 2021.

CAETANO, Ana Carolina Gonçalves; LUNA, Mônica Maria Mendes. O planejamento de sistema de gestão de resíduos sólidos urbanos com foco em embalagens: uma estrutura de análise da literatura. **VIII Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade (Enanppas)**, Natal, Rn, v. -, n. -, p. 1-19, out. 2017.

CERVANTES, Dolores Elizabeth Turcott et al. Using indicators as a tool to evaluate municipal solid waste management: a critical review. **Waste Management**, [S.L.], v. 80, p. 51-63, out. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2018.08.046>.

CONKE, Leonardo Silveira; NASCIMENTO, Elimar Pinheiro do. A coleta seletiva nas pesquisas brasileiras: uma avaliação metodológica. **Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, [S.L.], v. 10, n. 1, p. 199-212, abr. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/2175-3369.010.001.a014>.

CHIFARI, Rosaria et al. Development of a municipal solid waste management decision support tool for Naples, Italy. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 161, p. 1032-1043, set. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.074>.

DEUS, R. M.; BEZERRA, B. S.; BATTISTELLE, R. A. G.. Solid waste indicators and their implications for management practice. **International Journal Of Environmental Science And Technology**, [S.L.], v. 16, n. 2, p. 1129-1144, 11 dez. 2018. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s13762-018-2163-3>.

DEUS, Rafael Mattos et al. A municipal solid waste indicator for environmental impact: assessment and identification of best management practices. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 242, p. 118433, jan. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118433>.

FERREIRA, Diogo Cunha et al. Economic Inefficiency Levels of Urban Solid Waste Management Services in Portugal. **Sustainability**, [S.L.], v. 12, n. 10, p. 4170-4198, 20 maio 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su12104170>.

FLORIANÓPOLIS, Prefeitura de. **INDICADORES DA GERAÇÃO DE RESÍDUOS**. [2020]. Disponível em: <http://www.pmf.sc.gov.br/entidades/comcap/index.php?cms=indicadores+da+geracao+de+residuos&menu=6&submenuid=1414>. Acesso em: 18 dez. 2020.

FLORIANÓPOLIS, Prefeitura de. **Residuômetro em tempo real**. Disponível em: <http://www.pmf.sc.gov.br/entidades/comcap/index.php?cms=residuometro+em+tempo+real&menu=0>. Acesso em: 19 abr. 2021.

GAVRILESCU, Daniela Căilean; TEODOSIU, Carmen. An assessment of the Romanian solid waste management system based on sustainable development indicators. **Sustainable Production And Consumption**, [S.L.], v. 8, p. 45-56, out. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.spc.2016.07.004>.

HUANG, You-Ti; PAN, Tze-Chin; KAO, Jehng-Jung. Performance assessment for municipal solid waste collection in Taiwan. **Journal Of Environmental Management**, [S.L.], v. 92, n. 4, p. 1277-1283, abr. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.12.002>.

LAHOU, A. Al; ALSABBAGH, M.. Assessment of Municipal Solid Waste Management in the State of Kuwait. **International Journal Of Environmental Science And Development**,



[S.L.], v. 10, n. 2, p. 51-56, 2019. EJournal Publishing.  
<http://dx.doi.org/10.18178/ijesd.2019.10.2.1145>.

MARTINHO, Graça et al. A case study of packaging waste collection systems in Portugal – Part I: performance and operation analysis. **Waste Management**, [S.L.], v. 61, p. 96-107, mar. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2017.01.030>.

MENDES, Paula et al. Evaluating municipal solid waste management performance in regions with strong seasonal variability. *Ecological Indicators*, [S.L.], v. 30, p. 170-177, jul. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.02.017>.

PAES, Michel Xocaira et al. Transition towards eco-efficiency in municipal solid waste management to reduce GHG emissions: the case of Brazil. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 263, p. 121370-121383, ago. 2020. Elsevier BV.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121370>.

PEREIRA, Suellen Silva; CURI, Rosires Catão; CURI, Wilson Fadlo. Uso de indicadores na gestão dos resíduos sólidos urbanos: uma proposta metodológica de construção e análise para municípios e regiões. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 23, n. 3, p. 471-483, jun. 2018. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522018162872>.

PEREIRA, Taís de S.; FERNANDINO, Gerson. Evaluation of solid waste management sustainability of a coastal municipality from northeastern Brazil. **Ocean & Coastal Management**, [S.L.], v. 179, p. 104839-104850, set. 2019. Elsevier BV.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.104839>.

QDAIS, H.A. Abu. Techno-economic assessment of municipal solid waste management in Jordan. **Waste Management**, [S.L.], v. 27, n. 11, p. 1666-1672, jan. 2007. Elsevier BV.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2006.08.004>.

RODRIGUES, Alessandra Candido; CANELADA, Mayale. **Utilização de KPI – Indicadores de Desempenho na Cadeia de Suprimentos. Um estudo de caso em indústria metalúrgica no setor da construção civil**. 2015. 58 f. Trabalho de Curso (Bacharelado em Administração) – Centro Universitário Eurípides de Marília, Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, Marília, 2015.

RODRIGUES, A.P. et al. Developing criteria for performance assessment in municipal solid waste management. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 186, p. 748-757, jun. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.067>.

SANJEEVI, V; SHAHABUDEEN, P. Development of performance indicators for municipal solid waste management (PIMS): a review. **Waste Management & Research**, [S.L.], v. 33, n. 12, p. 1052-1065, 16 out. 2015. SAGE Publications.  
<http://dx.doi.org/10.1177/0734242x15607428>.

SILVA, Luciana da; PRIETTO, Pedro Domingos Marques; KORF, Eduardo Pavan. Sustainability indicators for urban solid waste management in large and medium-sized

worldwide cities. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 237, p. 117802-117812, nov. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117802>.

SOUSA, V et al. Benchmarking operational efficiency in waste collection: discussion of current approaches and possible alternatives. **Waste Management & Research**, [S.L.], v. 37, n. 8, p. 803-814, 11 jun. 2019. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/0734242x19854119>.

TURNER, David A.; WILLIAMS, Ian D.; KEMP, Simon. Combined material flow analysis and life cycle assessment as a support tool for solid waste management decision making. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 129, p. 234-248, ago. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.077>.

**6. APÊNDICE A - CONSOLIDAÇÃO DE INDICADORES DE DESEMPENHO PARA GESTÃO DE RESÍDUOS**

Quadro 9 - Indicadores de desempenho na gestão de resíduos e métricas sugeridas

<b>Indicador</b>	<b>Métricas sugeridas para o indicador na literatura</b>
Quantidade de resíduos sólidos gerados	Resíduos sólidos urbanos gerados, Resíduos sólidos industriais gerados (GAVRILESCU, TEODOSIU, 2016; LAHOU, ALSABBAGH, 2019); Taxa de aumento da quantidade total de geração de RSU, Quantidade de construção e demolição gerada por ano (ALHUMID et al., 2019); Geração de resíduos por categoria, Geração de resíduos por atividade (GAVRILESCU, TEODOSIU, 2016); Total de resíduos sólidos gerados (PAES <i>et al.</i> 2020; CHIFARI <i>et al.</i> (2017)); Resíduos sólidos gerados per capita (SILVA, PRIETTO, KORF, 2019; DEUS <i>et al.</i> 2020; ARIZA, JIMÉNEZ, SARDÁ, 2008; GAVRILESCU, TEODOSIU, 2016; ALHUMID et al., 2019; CHIFARI <i>et al.</i> , 2017); Resíduos urbanos gerados per capita (SILVA, PRIETTO, KORF, 2019; PEREIRA, CURI, CURI, 2018); Resíduos per capita por ano, Resíduos por grupo de renda (LAHOU, ALSABBAGH, 2019); Produção de resíduos sólidos per capita (MENDES <i>et al.</i> , 2013); Quantidade de resíduos gerados per capita por dia (PAES <i>et al.</i> , 2020; MARTINHO <i>et al.</i> , 2017)
Quantidade de resíduos sólidos coletados	Total de resíduo coletado em relação ao resíduo gerado (%) (ARMIJO, PUMA, OJEDA, 2011; LAHOU, ALSABBAGH, 2019); Taxa entre a quantidade de resíduos coletados e a quantidade de resíduos que poderiam ter sido coletados (SOUSA <i>et al.</i> , 2019); Coleta de resíduos sólidos urbanos per capita (SILVA, PRIETTO, KORF, 2019);

Quadro 9 - Continuação

Indicador	Métricas sugeridas para o indicador na literatura
Quantidade de resíduos sólidos coletados em relação a outras unidades	Quantidade de resíduos sólidos coletados por unidade de tempo de coleta, Quantidade de resíduos sólidos coletados por milhas percorridas (HUANG, PAN, KAO, 2011); Toneladas de resíduos sólidos coletados por mil euros gastos, toneladas de resíduos não aproveitáveis coletados por mil euros gastos, toneladas de resíduos valorizados coletados por mil euros gastos, peso dos resíduos não aproveitáveis do total coletado, peso dos resíduos valorizados do total coletado (FERREIRA <i>et al.</i> , 2020);
Quantidade de resíduos recuperáveis ou recicláveis	Porcentagem de material recuperável (%) (ARMIJO, PUMA, OJEDA, 2011); Segregação dos resíduos coletados para cada categoria (ALHUMID <i>et al.</i> , 2019); Toneladas de resíduos seletivos por mil euros gastos (FERREIRA <i>et al.</i> , 2020); Caracterização de resíduos (MARTINHO <i>et al.</i> , 2017);
Quantidade de resíduos recicláveis coletados	Taxa de separação de resíduos para reciclagem (%) (MENDES <i>et al.</i> , 2013); Quantidade de material coletado seletivamente, Revenda dos materiais recicláveis e do composto orgânico (PEREIRA, CURI, CURI, 2018); Porcentagem do total de toneladas de resíduos recuperados em relação ao total de resíduos gerados (%) (ARMIJO, PUMA, OJEDA, 2011); Taxa de reciclagem (LAHOU, ALSABBAGH, 2019; MENDES <i>et al.</i> , 2013); Taxa de separação de resíduos para reciclagem (%), Taxa de recuperação de resíduos de pátio (MENDES <i>et al.</i> , 2013); Porcentagem de resíduos recicláveis recuperados (%) (ARMIJO, PUMA, OJEDA, 2011); Taxa de separação de resíduos para reciclagem, % de resíduos de construção e demolição reciclados, % de resíduos sólidos municipais reciclados (ALHUMID <i>et al.</i> , 2019); toneladas de resíduos recicláveis coletados por mil euros gastos, peso dos resíduos seletivos do total coletado, peso dos resíduos recicláveis do total coletado (FERREIRA <i>et al.</i> , 2020); Fração do resíduo coletado pela coleta seletiva, Fração de reciclagem de resíduos sólidos (SILVA, PRIETTO, KORF, 2019); Resíduos reciclados per capita, Resíduos tratados per capita (GAVRILESCU, TEODOSIU, 2016); Quantidade de resíduos reciclados (PAES <i>et al.</i> 2020); Taxa de reciclagem, Taxa de resíduos recicláveis separados, (MARTINHO <i>et al.</i> , 2017); Taxa entre a quantidade de resíduos separados e a quantidade de resíduos que poderiam ter sido separados (SOUSA <i>et al.</i> , 2019); Porcentagem de resíduos destinados à compostagem (PEREIRA, FERNANDINO, 2019);

Quadro 9 - Continuação

Indicador	Métricas sugeridas para o indicador na literatura
Qualidade dos resíduos recicláveis coletados	Porcentagem da composição de resíduos coletados por categoria (%) (ARMIJO, PUMA, OJEDA, 2011); Caracterização de resíduos (LAHOU, ALSABBAGH, 2019); Índice de qualidade de resíduos (DEUS <i>et al.</i> , 2020), Existência de centros de triagem e compostagem, Taxa de aproveitamento de matéria orgânica em composto orgânico (PEREIRA, CURI, CURI, 2018); Taxa de contaminantes na coleta seletiva de resíduos (MARTINHO <i>et al.</i> , 2017); Densidade do resíduo (ARIZA, JIMÉNEZ, SARDÁ, 2008); Resíduos tratados (compostagem) per capita, (GAVRILESCU, TEODOSIU, 2016); Quantidade para despejo a céu aberto e despejo controlado (PAES <i>et al.</i> , 2020)
Quantidade de resíduos municipais depositados em aterro	Volume de resíduos em aterro (DEUS, BEZERRA, BATTISTELLE, 2018); Quantidade de resíduos enviados para aterro ou incinerador ((LAHOU, ALSABBAGH, 2019); Resíduos em aterro (%) (MENDES <i>et al.</i> , 2013); Tonelagem total de resíduos municipais depositados em aterro, Quantidade de resíduos descartados em aterro, além de resíduos municipais de outras fontes, Armazenamento impróprio de resíduos em aterro (ALHUMID <i>et al.</i> , 2019); Toneladas de resíduos de aterro coletados por mil euros gastos (FERREIRA <i>et al.</i> , 2020); Destinação de resíduos para aterros sanitários (SILVA, PRIETTO, KORF, 2019); Resíduos de aterro per capita (GAVRILESCU, TEODOSIU, 2016); Quantidade enviada para aterro sanitário (PAES <i>et al.</i> , 2020)
Separação de resíduos pela população	Porcentagem de residências que separam resíduos em relação ao número total de residências (%), Porcentagem da população que pretende participar da separação (%) (ARMIJO, PUMA, OJEDA, 2011; LAHOU, ALSABBAGH, 2019);

Quadro 9 - Continuação

Indicador	Métricas sugeridas para o indicador na literatura
Cobertura de serviço de coleta, inclusive em relação a equipamentos	Número de regiões contempladas, população servida, população servida por trabalhador, população por veículo (QDAIS, 2007); Cobertura do serviço de coleta (ARMIJO, PUMA, OJEDA, 2011; ALHUMID et al., 2019); População servida por coletor (HUANG, PAN, KAO, 2011); População atendida com os serviços de coleta seletiva (cobertura per capita), Fração da população municipal atendida com coleta de resíduos, Taxa de urbanização da população atendida pela coleta de resíduos, Taxa de cobertura do serviço de coleta de RSU no município (PEREIRA, CURI, CURI, 2018); Cobertura da coleta de resíduos sólidos urbanos, Cobertura da coleta seletiva porta a porta com relação à área urbana (SILVA, PRIETTO, KORF, 2019); Cobertura à população com serviços sanitários (GAVRILESCU, TEODOSIU, 2016); Total da população servida pela coleta, total da população urbana servida pela coleta (PAES <i>et al.</i> , 2020), Frequência da coleta de RSU no município, Quantidade de transportes utilizados na coleta dos RSU (per capita) (PEREIRA, CURI, CURI, 2018);
Capacidade dos equipamentos de coleta de resíduos	Média diária do número de contêineres por veículo de coleta (QDAIS, 2007); Quantidade de resíduos sólidos coletados por veículo de coleta (HUANG, PAN, KAO, 2011); Capacidade de veículos (kg/m <sup>3</sup> ), Uso de capacidade de manuseio (kg/equip.ano), Capacidade para resíduos mistos (l/habitante) (MENDES <i>et al.</i> , 2013); Veículos de coleta de resíduos ineficientes (ALHUMID et al., 2019);
Custo de coleta e transporte	Média do custo de coleta e transporte (QDAIS, 2007); Custo de coleta, Custo de transporte (SANJEEVI, SHAHABUDEEN, 2015); Custos operacionais de coleta (DEUS, BEZERRA, BATTISTELLE, 2018); Média de custo por tonelada (ARMIJO, PUMA, OJEDA, 2011); Custo por volume unitário de resíduos sólidos coletado (HUANG, PAN, KAO, 2011); Custo de coleta (A TEIXEIRA et al., 2014); Transporte de coleta seletiva e/ou coleta convencional (PEREIRA, CURI, CURI, 2018); Custo de coleta por tonelada de resíduos gerados, Custo da eliminação de resíduos municipais por tonelada métrica, Custo de reciclagem / tonelada de resíduos gerados (ALHUMID et al., 2019); Consumo de combustível (A TEIXEIRA et al., 2014)

Quadro 9 - Continuação

Indicador	Métricas sugeridas para o indicador na literatura
Produtividade de funcionários na coleta e transporte	Média diária de resíduos sólidos coletados por trabalhador (QDAIS, 2007); Índice de avaliação de performance (%) (MENDES et al., 2013); Produtividade dos trabalhadores (t/h.trabalhador) (A TEIXEIRA et al., 2014); Funcionários por tonelada de resíduos gerada diariamente, Número de funcionários trabalhando em aterro por tonelada de resíduos gerada por dia, Número de funcionários de coleta por 1000 residências (ALHUMID et al., 2019); Trabalhadores dedicados na coleta, produtividade da equipe (MARTINHO <i>et al.</i> , 2017)
Ativos	Falta de instalações adequadas de reciclagem de resíduos, Presença de instalação de recuperação de material, Dinâmica das instalações de tratamento (ALHUMID et al., 2019); Recuperação das áreas de lixões, Licenciamento ambiental, Local e condições do aterro, Infraestrutura implantada no aterro, Condições operacionais do aterro, (PEREIRA, CURTI, CURTI, 2018)
Distância percorrida e/ou tempo de coleta e transporte	Média de contêineres por quilômetro de rota de coleta (QDAIS, 2007); Utilização de veículos (MENDES et al., 2013); Distância de coleta total, Distância de coleta efetiva (A TEIXEIRA et al., 2014); Distância percorrida por veículo (TURNER, WILLIAMS, KEMP, 2016); Distância média das residências para as lixeiras (CALABRÔ, KOMILIS, 2019); Distância média entre as lixeiras de coleta de recicláveis e as casas, Distância média percorrida pelo veículo de coleta Nível de coleta de recicláveis dos contêineres (ALHUMID et al., 2019); Distância efetiva percorrida pela distância total percorrida pelo veículo, Distância total de coleta percorrida, Distância efetiva de coleta (MARTINHO <i>et al.</i> , 2017); Tempo de coleta total, Tempo de coleta efetivo (A TEIXEIRA et al., 2014; MARTINHO et al., 2017), Tempo efetivo de trabalho (MARTINHO et al., 2017)

Quadro 9 - Continuação

<b>Indicador</b>	<b>Métricas sugeridas para o indicador na literatura</b>
Condições Laborais	Acidentes de trabalho (MENDES et al., 2013); Número de acidentes de trabalho, N° de faltas por funcionário, Treinamento de pessoal (ALHUMID et al., 2019); Absenteísmo (%), Total de horas de treinamento, Total de horas de treinamento (MENDES et al., 2013); investir em qualificação e treinamento de colaboradores (RODRIGUES <i>et al.</i> , 2018)
Envolvimento da comunidade	Participação social (SANJEEVI, SHAHABUDEEN, 2015); Envolvimento da comunidade na melhoria de práticas atuais (ALHUMID et al., 2019); Buscar ações em conjunto com a comunidade (RODRIGUES <i>et al.</i> , 2018); Taxa de participação da comunidade (MARTINHO <i>et al.</i> , 2017)
Avaliação dos serviços pela comunidade	Ponto de vista social (SANJEEVI, SHAHABUDEEN, 2015); Porcentagem de pessoas que não estão satisfeitas com o sistema de (%), Porcentagem de comentários a favor do sistema (%), Porcentagem de pessoas que conhecem o programa (%) (ARMIJO, PUMA, OJEDA, 2011; LAHOU, ALSABBAGH, 2019); Índice de satisfação de habitantes (%), Resposta a reclamações e sugestões (%), (MENDES <i>et al.</i> , 2013); Pessoas não satisfeitas com o serviço de gestão de resíduos, Aceitação pública dos planos de gestão de resíduos e de ações, Consciência da comunidade sobre a importância de uma gestão de resíduos sólidos (ALHUMID et al., 2019); Porcentagem de população satisfeita (PEREIRA, FERNANDINO, 2019); Existência de informações sobre a gestão dos RSU sistematizadas e disponibilizadas para a população em meio digital, Existência de um canal de reclamações (PEREIRA, CURI, CURI, 2018);
Saúde pública	Doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado/aos resíduos (PEREIRA, CURI, CURI, 2018);
Inclusão social	Existência de catadores em lixão, Existência de catadores nas ruas, Existência de recursos de captação para os catadores, Existência de cooperativa e associações de catadores, Parceria do poder público e catadores na separação dos resíduos com a existência de um cadastro de catadores (PEREIRA, CURI, CURI, 2018);
Comunicação com a comunidade	Ações conscientizadoras (%) (MENDES <i>et al.</i> , 2013); Sensibilização ambiental, Cobrança dos usuários pelo serviço de coleta e limpeza urbana (PEREIRA, CURI, CURI, 2018); Consciência ambiental e campanhas educacionais (RODRIGUES <i>et al.</i> , 2018);



Quadro 9 - Continuação

Indicador	Métricas sugeridas para o indicador na literatura
Poluição	Impacto ambiental (SANJEEVI, SHAHABUDEEN, 2015; DEUS, BEZERRA, BATTISTELLE, 2018); Consumo de recursos naturais, índice poluição e qualidade do ar e da água (DEUS, BEZERRA, BATTISTELLE, 2018); Impacto visual, Odor, Temperatura do resíduo, (TDS) no resíduo, Sólido em suspensão total, BOD no resíduo, COD no resíduo, Taxa BOD/COD, Nitratos, Concentração de fósforo, Concentração de amônia (ALHUMID et al., 2019); Indicadores de qualidade do ar, Indicador de pegadas de carbono (GAVRILESCU, TEODOSIU, 2016); pegadas de carbono, impacto econômico e ambiental do transporte e adotadas soluções para o uso de resíduos (RODRIGUES <i>et al.</i> , 2018); emissão de gás carbônico (DEUS et al., 2020)
Cumprimento às normas ou <i>Compliance</i>	Regulamentação mexicana NOM083ECOL (ARMIJO, PUMA, OJEDA, 2011); Adequação dos transportes utilizados na coleta dos RSU à NBR13.221/2003, Existência de ações fiscalizatórias relacionadas à gestão dos RSU promovidas pelo poder público municipal, Existência do Plano Municipal de RSU, Existência de uma legislação específica para a gestão dos RSU no município (PEREIRA, CURI, CURI, 2018);
Financeiro	Autonomia Financeira (ARMIJO, PUMA, OJEDA, 2011); Eficiência financeira, Revenda dos materiais recicláveis e do composto orgânico (PEREIRA, CURI, CURI, 2018); Grau de autofinanciamento, Despesa com a gestão de resíduos per capita, Receita coletada por impostos per capita (SILVA, PRIETTO, KORF, 2019); Produto interno bruto (GAVRILESCU, TEODOSIU, 2016)

Quadro 9 - Continuação

Indicador	Métricas sugeridas para o indicador na literatura
Outros	<p>Ciclo de vida (LCA) (DEUS, BEZERRA, BATTISTELLE, 2018); Consumo de energia por habitante e índice de qualidade de resíduos Deus <i>et al.</i> (2020); Média da qualificação do sistema de gestão de resíduos e serviço de coleta (ARMIJO, PUMA, OJEDA, 2011); Limpeza dos equipamentos, Dimensão da equipe em tempo integral, Uso de recursos de energia, Implementação de projetos, Custo de resíduos, Custos totais (MENDES <i>et al.</i>, 2013); Custo por habitante, Custo por residência (A TEIXEIRA <i>et al.</i>, 2014); Disposição final, Rentabilidade dos recursos humanos, Capacitação de funcionários, Utilização de EPIs, Qualidade dos serviços, Solicitações de serviço atendidas (eficiência), Educação ambiental nas escolas, Recuperação de área degradadas com RSU, FPM, (PEREIRA, CURI, CURI, 2018); Nível de serviço de limpeza de ruas, volume disponível das lixeiras a qualquer momento e avaliar a área em volta da lixeira (CALABRÒ, KOMILIS, 2019); Frequência de limpeza de equipamentos, Vida útil restante, Aplicação do custo do ciclo de vida (LCC) e avaliação do ciclo de vida (LCA), (ALHUMID <i>et al.</i>, 2019); Consumo de material, Produtividade de recursos, Resíduos incinerados per capita, Dinâmica de instalações de tratamento, Indicador de auto suficiência (GAVRILESCU, TEODOSIU, 2016); Benefícios (R\$), Custo Social, Custo de investimento e operação, Custo externalidades ambientais (PAES <i>et al.</i>, 2020); Encontrar procedimentos operacionais, controlar a performance prática da coleta, seguir o cronograma de coleta, potencializar logística reversa, identificar a vida útil dos aterros, (RODRIGUES <i>et al.</i>, 2018)</p>

Fonte: Autor (2021)

## 7. APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO DE INDICADORES

### Perfil do respondente

Nome:

Cargo:

Tempo de atuação na função:

Atividades desempenhadas:

### Indicadores

Gostaria que o senhor(a) avaliasse os indicadores segundo a sua relevância (importância do indicador para avaliar o desempenho da empresa) e a viabilidade de adotá-los.

1. Indicadores relacionados a "quantidade de resíduos sólidos gerados", tais como: total de resíduos sólidos gerados (t), quantidade de resíduos gerados per capita/dia (Kg), taxa de aumento da quantidade total de geração de RSU (%):

Irrelevante						Imprescindível
Inviável (muito difícil de obter dados)						Viável (há dados disponíveis)

2. Indicadores relacionados a "**quantidade de resíduos sólidos coletados**", tais como: total de resíduo coletado (t), total de resíduo coletado per capital (t/hab.dia):

Irrelevante						Imprescindível
Inviável (muito difícil de obter dados)						Viável (há dados disponíveis)

3. Indicadores relacionados a "**quantidade de resíduos sólidos coletados em relação a outras unidades**", por exemplo, quantidade de resíduos coletados por tempo de coleta (t/h), quantidade de resíduos coletados por distância percorrida (t/Km); quantidade de resíduos sólidos coletados por unidade monetária (t/R\$)

Irrelevante						Imprescindível
Inviável (muito difícil de obter dados)						Viável (há dados disponíveis)

4. Indicadores relacionados a "**quantidade de resíduos recuperáveis ou recicláveis**", por exemplo, quantidade de resíduos recicláveis (t), quantidade de material recuperável em relação ao total coletado (%), composição de resíduos coletados por categoria (%).

Irrelevante						Imprescindível
Inviável (muito difícil de obter dados)						Viável (há dados disponíveis)

5. Indicadores relacionados a "**quantidade de resíduos municipais depositados em aterro**", tais como, volume de resíduos em aterro (m<sup>3</sup>), quantidade de resíduos enviados para aterro; valor gasto com resíduos encaminhados a aterros (R\$)

Irrelevante						Imprescindível
Inviável (muito difícil de obter dados)						Viável (há dados disponíveis)

6. Indicadores relacionados a “**separação de resíduos pela população**”, tais como, residências que separam resíduos em relação ao número total de residências (%), parcela da população que participa de programas de coleta seletiva (%)

Irrelevante						Imprescindível
Inviável (muito difícil de obter dados)						Viável (há dados disponíveis)

7. Indicadores relacionados a “**cobertura de serviço de coleta, inclusive em relação a equipamentos**” como número de bairros servidos em relação ao total de bairros (%), população servida (%), população atendida com os serviços de coleta seletiva (%), população por veículo de coleta (hab/veículo), população servida por coletor ou PEV (hab/PEV)

Irrelevante						Imprescindível
Inviável (muito difícil de obter dados)						Viável (há dados disponíveis)

8. Indicadores relacionados a “**capacidade dos equipamentos de coleta de resíduos**”, tais como, capacidade total dos veículos de coleta (t); capacidade de veículos (kg/m<sup>3</sup>), capacidade dos contentores ou PEVs (Kg ou m<sup>3</sup>)

Irrelevante						Imprescindível
Inviável (muito difícil de obter dados)						Viável (há dados disponíveis)

9. Indicadores relacionados a “**Custo de coleta e transporte**”, tais como, custo médio de coleta e transporte (R\$/Kg), custo total de coleta (R\$), custo de transferência (R\$/t.Km), custo por volume unitário de resíduos sólidos, custo de coleta por tonelada de resíduos gerados (R\$/t)

Irrelevante						Imprescindível
Inviável (muito difícil de obter dados)						Viável (há dados disponíveis)

10. Indicadores relacionados a “**produtividade de funcionários na coleta e transporte**”, tais como, média diária de resíduos sólidos coletados por trabalhador (Kg/homem.dia), produtividade do trabalhador (t/hora), número de funcionários por tonelada de resíduos gerada diariamente (h/t), número de trabalhadores dedicados na coleta sobre número total de funcionários (%)

Irrelevante						Imprescindível
Inviável (muito difícil de obter dados)						Viável (há dados disponíveis)

11. Indicadores relacionados a “**quantidade de resíduos recicláveis coletados**”, como por exemplo, quantidade de material coletado seletivamente (t), taxa de separação de resíduos para reciclagem (%), quantidade de resíduos recicláveis por habitante (t/hab)

Irrelevante						Imprescindível
Inviável (muito difícil de obter dados)						Viável (há dados disponíveis)

12. Indicadores relacionados a “**qualidade dos resíduos recicláveis coletados**”, como por exemplo, resíduos recicláveis recuperados em relação aos resíduos coletados (%), total de resíduos recuperados em relação ao total de resíduos gerados (%), composição de resíduos coletados por categoria (%), taxa de contaminantes na coleta seletiva de resíduos (%)

Irrelevante						Imprescindível
Inviável (muito difícil de obter dados)						Viável (há dados disponíveis)

13. Indicadores relacionados a “**poluição**”, como por exemplo, emissões de gás carbônico por tonelada de resíduo coletada ( $\text{KgCo}^2/\text{t}$ ), consumo de recursos naturais, impacto ambiental.

Irrelevante						Imprescindível
Inviável (muito difícil de obter dados)						Viável (há dados disponíveis)

14. Indicadores relacionados ao “**envolvimento da comunidade**”, como por exemplo, número de ações em conjunto com a comunidade, participação da comunidade nos programas promovidos pela Comcap (%), aceitação pela comunidade dos planos de gestão de resíduos e de ações (%)

Irrelevante						Imprescindível
Inviável (muito difícil de obter dados)						Viável (há dados disponíveis)



15. Indicadores que visam à “**avaliação dos serviços pela comunidade**”, como por exemplo, pessoas que não estão satisfeitas com o sistema de coleta (%), Número de comentários positivos dos serviços (%), satisfação de habitantes (%), Número de reclamações mensais, solicitações de serviço atendidas (%), cumprimento ao cronograma de coleta

Irrelevante						Imprescindível
Inviável (muito difícil de obter dados)						Viável (há dados disponíveis)

16. Indicadores relacionados a questões de “**saúde pública**”, como por exemplo, ocorrência de doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado/aos resíduos, ocorrências de disposição de resíduos em locais inapropriados, quantidade de resíduos destinados em locais inapropriados (t)

Irrelevante						Imprescindível
Inviável (muito difícil de obter dados)						Viável (há dados disponíveis)

17. Indicadores relacionados a “**inclusão social**”, como por exemplo, número de catadores nas ruas, disponibilidade de recursos de captação para catadores (R\$), número de cooperativas e associações de catadores, parcerias entre Comcap e catadores nas atividades de separação dos resíduos, manutenção de um cadastro de catadores

Irrelevante						Imprescindível
Inviável (muito difícil de obter dados)						Viável (há dados disponíveis)

18. Indicadores relacionados a “**comunicação com a comunidade**”, como por exemplo, informações sobre a gestão dos resíduos sistematizadas e disponibilizadas para a população em meio digital, existência de um canal de reclamações.

Irrelevante						Imprescindível
Inviável (muito difícil de obter dados)						Viável (há dados disponíveis)

19. Indicadores relacionados a “**cumprimento às normas ou Compliance**”, tais como, licenciamento ambiental das instalações de armazenamento, triagem e transbordo, adequação dos transportes utilizados na coleta dos RSU à NBR13.221/2003, existência e de um PMGIRS

Irrelevante						Imprescindível
Inviável (muito difícil de obter dados)						Viável (há dados disponíveis)

