

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E  
SISTEMAS

DOUGLAS ALCINDO DA ROZA

**MODELO DE SELEÇÃO DE TECNOLOGIAS NA GESTÃO DE RESÍDUOS  
SÓLIDOS URBANOS**

DISSERTAÇÃO

PATO BRANCO

2020

DOUGLAS ALCINDO DA ROZA

**MODELO DE SELEÇÃO DE TECNOLOGIAS NA GESTÃO DE RESÍDUOS  
SÓLIDOS URBANOS**

**Technology selection model for solid urban waste management**

Dissertação apresentada como requisito obrigatório para obtenção de grau de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Pato Branco. Área de concentração: Engenharia organizacional e do trabalho.

Orientador: Prof. Dr. Edson Pinheiro de Lima.  
Coorientador: Prof. Dr. Sergio Eduardo Gouvêa da Costa.

PATO BRANCO

2020



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite o download e o compartilhamento da obra desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-la ou utilizá-la para fins comerciais.



**Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Câmpus Pato Branco**



---

DOUGLAS ALCINDO DA ROZA

### **MODELO DE SELEÇÃO DE TECNOLOGIAS NA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Engenharia De Produção E Sistemas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Gestão Dos Sistemas Produtivos.

Data de aprovação: 04 de Novembro de 2020

Prof Edson Pinheiro De Lima, - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof Fernando Deschamps, Doutorado - Pontifícia Universidade Católica do Paraná (Pucpr)

Prof Gilson Ditzel Santos, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 30/11/2020.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus que sempre colocou pessoas maravilhosas na minha vida.

Agradeço a minha companheira Juliana Biluca que está comigo em todos os momentos.

A minha mãe que sempre me falava “estuda menino” e ao meu pai que mesmo sem entender sempre me apoia.

À instituição de ensino e pesquisa Universidade Tecnológica Federal do Paraná, pela honrosa oportunidade.

Ao Prof. Dr. Edson Pinheiro de Lima, pela paciência e pela orientação ao longo de todo o processo, foi e sempre será uma honra ter sido seu aluno.

Ao Prof. Dr. Sérgio Eduardo Gouvêa da Costa, pelas valiosas contribuições.

A todos os professores, servidores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Pato Branco.

## RESUMO

ROZA, Douglas Alcindo; **Modelo de seleção de tecnologias na gestão de resíduos sólidos urbanos**. 2019, p. 127. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) – Programa de Pós-Graduações em Engenharia de Produção e Sistemas, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2020.

Este estudo tem por finalidade a organização de um modelo conceitual de seleção de tecnologias para o gerenciamento de resíduos urbanos municipais. A metodologia inicia com uma revisão sistêmica da literatura para identificar tecnologias e estudos sobre ideias inovadoras e sustentáveis na gestão de resíduos sólidos, bem como, critérios de avaliação de gestão de resíduos. Os resultados da pesquisa de literatura são apresentados para especialistas com o intuito de selecionar os principais critérios para avaliação de sistemas de gestão de resíduos. A partir dos critérios selecionados podem ser realizadas entrevistas com decisores, assim podem-se identificar problemas e projetar possíveis soluções na gestão de resíduos. As possíveis soluções são hierarquizadas por ordem preferencial através de métodos multicritérios. Neste trabalho fez-se a aplicação em dois estudos de caso, sendo o primeiro realizado entrevistas com especialistas e gestor municipal, nesse estudo de caso identificou-se um problema relacionado à segregação e identificação dos resíduos, e através da opinião de especialistas, o problema poderia ser resolvido por meio de um cenário tecnológico utilizando lixeiras com tecnologia e incentivos financeiros. Já no segundo estudo de caso o gestor municipal informou um problema de gestão de resíduos relacionado à rastreabilidade do transporte e acondicionamento do material, nesse estudo o decisor selecionou por meio dos métodos multicritérios sobre a implementação de sistema de monitoramento de veículos em tempo real para rastrear os veículos coletores. Com a aplicação do modelo, observou-se que as etapas podem ser aplicadas em qualquer contexto e os decisores podem ser diversos atores.

Palavras-chave: Gestão de Resíduos Sólidos. Métodos Multicritério de Apoio à decisão. Tecnologias e Operações Sustentáveis.

## ABSTRACT

ROZA, Douglas Alcindo; **Technology selection model for solid urban waste management**. 2019, p. 127. Dissertation (Masters in Industrial and Systems) – Graduate Program in Production and Systems Engineering, Federal Technological University of Paraná. Pato Branco, 2019.

This study aims to organize a conceptual model of selection of technologies for the management of municipal household waste. The methodology starts with a systematic review of the literature to identify technologies and studies on innovative and sustainable ideas in the management of urban solid waste, as well as criteria for assessing waste management. The results of the literature search are presented to specialists to select the main criteria for assessing waste management systems. Based on the selected criteria, interviews with decision makers can be carried out, so it is possible to identify problems and design possible solutions in waste management. Possible solutions are ranked in order of preference using multicriteria methods. In this work, two case studies were applied, the first of which was conducted with interviews with specialists and a municipal manager. In this case study, a problem related to the segregation and identification of waste was identified, and through the opinion of experts, the problem it could be solved through a technological scenario using technological dumps and financial incentives to encourage. In the second case study, the municipal manager reported a waste management problem related to the traceability of transport and packaging of the material. In this study, the decision maker selected through the multi-criteria methods on the implementation of a vehicle monitoring system in real time to track collecting vehicles. With the application of the model, it was observed that the steps can be applied in any context and the decision-makers can be different actors.

Keywords: Solid waste management. Multicriteria Methods of Decision Support. Sustainable Operations Technologies.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Layout transporte subterrâneo de resíduos. ....	22
Figura 2: Modelo de seleção de tecnologias para a gestão de resíduos.....	25
Figura 3: Resumo das etapas do <i>Proknow-C</i> . ....	26
Figura 4: Protocolo de aplicação metodológica .....	33
Figura 5: Reconhecimento científico dos artigos. ....	38

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1– plano de publicação. ....	23
Quadro 2: roteiro inicial de entrevista com o decisor.....	28
Quadro 3: protocolo de pesquisa. ....	34
Quadro 4: principais critérios de avaliação observados na literatura. ....	39
Quadro 5: características sustentáveis e inovadoras identificadas no segundo conjunto de artigos do portfólio bibliográfico. ....	42
Quadro 6: critérios de gestão de resíduos.....	46
Quadro 7: respostas comparação dos critérios pelo primeiro especialista. ....	49
Quadro 8: respostas comparação dos critérios pelo segundo especialista.....	50
Quadro 9: respostas comparação dos critérios pelo terceiro especialista.....	51
Quadro 10: respostas comparação dos critérios pelo decisor.....	58



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Escala fundamental de saaty.....	29
Tabela 2: Valores linguísticos de ivifs para termos linguísticos. ....	30
Tabela 3: Escala de preferência fuzzy. ....	30
Tabela 4: Eixos e termos de pesquisa. ....	36
Tabela 5: Referências com maior relevância conforme termos de busca e pesquisa. ....	37
Tabela 6: Referência do primeiro portfólio de artigos. ....	38
Tabela 7: Referências do segundo portfólio de artigos. ....	39
Tabela 8: Indicadores observados na literatura e selecionados pelos especialistas.....	47
Tabela 9: Descrição dos possíveis cenários para o município 1. ....	49
Tabela 10: Resultado para o peso dos critérios. ....	52
Tabela 11: Análise de consistência pelos especialistas. ....	52
Tabela 12: Matriz de avaliação linguística do primeiro especialista sobre o desempenho das alternativas .....	53
Tabela 13: Matriz de avaliação linguística do segundo especialista sobre o desempenho das alternativas .....	53
Tabela 14: Matriz de avaliação linguística do terceiro especialista sobre o desempenho das alternativas. ....	54
Tabela 15: Resultado com o ranking das alternativas. ....	55
Tabela 16: Descrição dos possíveis cenários para o estudo de caso ii. ....	58
Tabela 17: Resultado das atribuições de pesos pelo decisor. ....	59
Tabela 18: Análise de consistência pelo decisor. ....	59
Tabela 19: Matriz de avaliação linguística do decisor sobre o desempenho das alternativas. .	60
Tabela 20: Resultado com o ranking das alternativas. ....	60

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO E PROBLEMA DE PESQUISA .....	12
1.2	JUSTIFICATIVA .....	13
1.3	OBJETIVOS .....	15
<b>1.3.1</b>	<b>Objetivo principal.....</b>	<b>16</b>
<b>1.3.2</b>	<b>Objetivos secundários .....</b>	<b>16</b>
1.4	ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO DE PESQUISA .....	16
<b>2.</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>17</b>
2.1.	GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	17
2.2.	MÉTODOS MULTICRITÉRIO NA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	18
2.3.	CIDADES SUSTENTÁVEIS .....	20
<b>3.</b>	<b>PLANEJAMENTO DA PESQUISA.....</b>	<b>23</b>
3.1.	PLANO DE PUBLICAÇÃO .....	23
3.2.	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA .....	23
3.3.	PROCEDIMENTO METODOLÓGICO.....	24
3.4.	REVISÃO SISTÊMICA DE LITERATURA (RSL) PARA ORGANIZAÇÃO DE CONJUNTOS DE ARTIGOS .....	26
3.5.	SELEÇÃO DOS CRITÉRIOS – ENTREVISTA COM ESPECIALISTAS .....	27
3.6.	ESTRUTURAÇÃO DO MODELO .....	28
<b>3.6.1.</b>	<b>Métodos multicritérios FuzzyTopsis para seleção de tecnologias.....</b>	<b>29</b>
3.7.	PROTOCOLO DA PESQUISA .....	32
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>36</b>
4.1.	REVISÃO SISTÊMICA DE LITERATURA .....	36
4.2.	ANÁLISE DE CONTEÚDO DO PRIMEIRO CONJUNTO DE ARTIGOS PARA SELEÇÃO DOS CRITÉRIOS .....	39
4.3.	ANÁLISE DE CONTEÚDO DO SEGUNDO CONJUNTO DE ARTIGOS SOBRE CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS E SUSTENTÁVEIS NA GESTÃO DE RESÍDUOS.....	42
4.4.	SELEÇÃO DOS CRITÉRIOS – ENTREVISTAS COM ESPECIALISTAS.....	44
4.5.	APLICAÇÃO DO MODELO .....	47
<b>4.5.1.</b>	<b>Estudo de caso I .....</b>	<b>48</b>
<b>4.5.2</b>	<b>Estudo de caso II.....</b>	<b>55</b>
<b>5.</b>	<b>LIÇÕES APRENDIDAS E CONTRIBUIÇÕES .....</b>	<b>61</b>

<b>6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>63</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>66</b>
<b>ANEXO I – ORIENTAÇÕES PARA PRIORIZAÇÃO DOS CRITÉRIOS.....</b>	<b>73</b>
<b>APÊNDICE 1 .....</b>	<b>75</b>
<b>APÊNDICE 2 .....</b>	<b>87</b>
<b>APÊNDICE 3 .....</b>	<b>107</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Nesta seção será abordado: (i) Contextualização e Problema de Pesquisa; (ii) Justificativa; (iii) Objetivos; (iv) Organização do Documento de Pesquisa; (v) Plano de publicação.

### 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E PROBLEMA DE PESQUISA

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) é o marco regulatório no Brasil em relação as diretrizes para a gestão dos resíduos sólidos no país (BRASIL, 2010). Apesar de ser prevista a gestão integrada nos municípios os gestores municipais encontram inúmeras dificuldades na implantação de medidas, sejam por questões técnicas, de pessoal e econômicas.

A necessidade tecnologias sustentáveis, como soluções eficazes para a gestão dos resíduos sólidos urbanos municipais, é um desafio para os gestores e especialistas, sendo necessária a utilização de um modelo para auxiliar a seleção, com capacidade de analisar, as dificuldades observadas pelos gestores e suas preferências, para processo de escolha na tomada de decisões, levando em consideração as características individuais de cada município, como por exemplo, a regulamentação e fatores ambientais locais.

Esse modelo deve ser capaz de integrar os critérios selecionados, proporcionando aos tomadores de decisão, uma visão clara das suas próprias dificuldades e preferências na seleção de possíveis soluções para a gestão de resíduos, e assim, minimizando os riscos de decisões incorretas ou arbitrárias.

Vale ressaltar que as dificuldades dos gestores municipais são diferentes de acordo com a localização e contexto de cada município, sendo importante que os gestores possam primeiramente entender as suas próprias necessidades e possíveis soluções, antes de tomar as decisões.

A PNRS elenca uma série de objetivos, como adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais, ou incentivos ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético entre outros (BRASIL, 2010). Tais objetivos da PNRS estão muito relacionados aos procedimentos operacionais adotados, nesse sentido cada

município possui um contexto único, diretamente relacionado a diversos fatores como seu conjunto normativo estadual e municipal, aos fatores ambientais locais, desenvolvimento regional, quantidade de habitantes entre outros possíveis fatores, dessa forma os municípios possuem objetivos comuns previstos na PNRS, entretanto os meios para atendimento a tais objetivos podem ser distintos. Por isso o apoio a tomada de decisão é importante para que os gestores municipais possam, através de especialistas ou por meio de suas preferencias tomar decisões com potencial de melhorar a eficiência de seus processos.

A partir desse pensamento, desenvolve-se a seguinte questão de pesquisa: Com base na necessidade de tomadores de decisões fundamentarem suas escolhas no gerenciamento de resíduos sólidos municipais, como um modelo de seleção de tecnologias pode tornar os sistemas convencionais mais eficazes?

## 1.2 JUSTIFICATIVA

O presente estudo justifica-se pelas suas contribuições teóricas e práticas que pretende apresentar. Como contribuição teórica pode ser demonstrada pela apresentação de um processo de análise sistêmica da literatura e identificação de critérios, metodologias de avaliação, e ainda ampliando os conhecimentos sobre tecnologias na gestão de resíduos sólido urbanos.

As contribuições práticas são para auxiliar os gestores municipais na seleção de melhores alternativas ou soluções para seus processos de gerenciamento de resíduos urbanos. Neste sentido a proposta do modelo de seleção de tecnologias, visa auxiliar os gestores e especialistas em um melhor e mais amplo entendimento sobre as inovações e tendências tecnológicas nas operações de gestões sustentáveis, racionalizando o procedimento de escolha, com auxílio dos métodos de decisão multicritério.

Neste sentido observa-se uma crescente na literatura em pesquisas de tecnologias para aprimorar as operações de gerenciamento de resíduos, principalmente sobre as chamadas lixeiras inteligentes, também conhecidas como “*smart garbage bin*” ou “*smart trash can*” ou ainda outras denominações para sistemas com lixeiras que utilizam sensores de peso ou volume, associadas a tecnologias capazes de transmitir dados em tempo real, ou por períodos temporais para um servidor capaz de gerenciar os dados, e otimizar os processos operacionais de coleta, transporte e destinação dos resíduos (ASIMAKOPOULOS *et al.*, 2016;

GUTIERREZ *et al.*, 2015; MAMUN, *et al.*, 2014; SHARMIN E AL-AMIN, 2016).

Segundo Dahlen *et al.* (2010) podem ser observadas na literatura como possíveis soluções, tanto de cunho educacional, político e organizacional como os sistemas de pagamento pela a quantidade de resíduos produzidos por esquemas de pagamento conforme o peso ou volume, que associadas a alternativas tecnológicas se tornam ainda mais eficazes. No mesmo sentido Wen *et al.* (2017) fizeram um estudo de resíduos orgânicos com uso de lixeiras com sensores *RFID Tags* que podem auxiliar na cobrança pela aferição do peso e/ou volume dos resíduos, na inspeção e fiscalização durante a coleta, transporte e destinação final.

Asimakopoulos *et al.* (2016) desenvolvem um projeto denominado Dynacargo, que se trata de um sistema de monitoramento e gerenciamento do nível das lixeiras de forma dinâmica a fim de aperfeiçoar as rotas dos caminhões. Já Gutierrez *et al.* (2015), utilizando dados abertos da Cidade de Copenhague, realizou um experimento em ambiente de simulação de Sistemas de Informações Geográficas, demonstrando que a integração da Internet das coisas com as redes de acesso de dados e a engenharia eletrônica pode contribuir para melhorar os sistemas de gestão de resíduos das cidades.

Mamun *et al.* (2014), apresentam uma estrutura de monitoramento remoto de resíduos sólidos em tempo real, via *ZigBee-PRO e GPRS*, o sistema acompanha o status da lixeira através de uma rede de sensores sem fio, com três níveis, *bin inteligente, gateway* e uma estação de controle que armazena e analisa os dados para uso posterior.

Sharmin; Al-Amin (2016) mensuram o peso e o volume de resíduos depositados nas lixeiras por sensores, os dados são enviados para um servidor em nuvem usando um microcontrolador e GPRS, assim faz-se um cronograma de coleta de resíduos para maximizar a coleta e de acordo com a localização dos veículos e dos depósitos de lixo são calculadas rotas de coleta. Assim, todo o processo pode ser monitorado, e fornecer um serviço de alta qualidade para os cidadãos de uma cidade inteligente.

Os sistemas tecnológicos são estudados para melhorar a eficácia dos sistemas de gestão, porém as tecnologias devem ser projetadas e dimensionadas de forma evitar custos e/ou esforços desnecessários. Thüerer *et al.* (2016) classificam o problema dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) como de controle de estoque com fluxos de materiais confluentes e demanda estocástica, dessa forma o autor propõe uma arquitetura utilizando o método Kanban associado a uma estrutura logística de produção IoT para coleta de resíduos sólidos.

Neste contexto os métodos de decisão multicritério podem ser aplicados em associação com outros métodos, para selecionar a melhor alternativa para a gestão, Pires *et*

*al.*, (2011) utilizou de associação dos métodos AHP e TOPSIS para classificar 18 alternativas para melhorar a sustentabilidade da gestão de resíduos sólidos na região de Setúbal em Portugal. Neste caso, o método AHP é utilizado para atribuir pesos ou preferências hierárquicas pelos critérios, enquanto a metodologia TOPSIS é utilizada para selecionar a alternativa mais próxima da ideal, conforme os pesos atribuídos.

Segundo Belton; Stewart (2002), decisão multicritério corresponde à descrição de um conjunto de abordagens formais, considerando mais de um critério e, com finalidade de auxiliar na determinação da decisão mais importante. A metodologia “*Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution*” (TOPSIS), proposta por Hwang e Yoon (1981) tem por finalidade determinar a melhor alternativa baseada nos conceitos da solução de compromisso considerando a escolha da solução com a distância mais curta da solução ideal positiva e a distância mais distante da solução ideal negativa (TZENG AND HUANG, 2011).

Porém os processos de tomada de decisão muitas vezes possuem dados incertos e imprecisos, podendo então ser utilizada a teoria dos conjuntos difusos (lógica fuzzy), com variáveis linguísticas em vez de valores numéricos para racionalizar o problema (Chen, 2000). Como é o estudo de Topaloglu *et al.* (2018) que sugere uma metodologia multicritério (FuzzyTopsis tipo 2) para avaliar e classificar sistemas alternativos de coleta de lixo em um ambiente urbano inteligente aplicado em um estudo de caso real em Eskisehir, na Turquia, para o qual os conceitos de design são baseados em tecnologias emergentes de informação e comunicação (TICs), os critérios de avaliação são determinados considerando as necessidades locais dos especialistas municipais.

Ademais, este trabalho se justifica pela possibilidade de realização da confrontação entre as origens do conhecimento, ou seja, na análise de conteúdo de inovações proposto pela literatura de tecnologias de gestão de resíduos urbanos, confrontando com o conhecimento de especialistas nacionais e gestores municipais de resíduos sólidos em possíveis tomadas de decisões, para seleção de tecnologias.

### 1.3 OBJETIVOS

Os objetivos desse documento de pesquisa são divididos em objetivo principal, objetivos secundários.

### **1.3.1 Objetivo Principal**

O principal objetivo deste trabalho é estruturar um modelo de seleção de tecnologias para aprimorar o gerenciamento dos resíduos sólidos municipais.

### **1.3.2 Objetivos Secundários**

Para atender ao objetivo principal, algumas metas são estabelecidas como objetivos secundários. (i) Identificar tecnologias inovadoras e sustentáveis de gestão de resíduos sólidos urbanos; (ii) Identificar critérios relevantes para implantação de tecnologias sustentáveis; (iii) Estruturar um modelo teórico conceitual de avaliação de tecnologias para o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos municipais (iv) Aplicar em diferentes contextos o modelo conceitual de seleção de tecnologias.

## **1.4 ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO DE PESQUISA**

O presente documento de pesquisa apresenta uma divisão organizada em cinco capítulos.

Capítulo 1: Apresenta o tema pesquisado, justificativa de pesquisa, objetivos, estrutura organizacional do documento de pesquisa e plano de publicação.

Capítulo 2: Consiste na fundamentação teórica do tema a ser pesquisado, objetiva explicitar o tema e o que já foi publicado.

Capítulo 3: Explora os procedimentos metodológicos e os aspectos de organização e planejamento da pesquisa.

Capítulo 4: Apresenta os resultados obtidos, as dificuldades de aplicação da pesquisa, contribuição e discussões sobre os resultados.

Capítulo 5: Faz um compilado dos resultados com uma conclusão do trabalho.



## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo objetiva expor fundamentos teóricos acerca do tema gestão de resíduos sólidos e possíveis associações com métodos multicritérios de apoio a decisão, para seleção de tecnologias.

### 2.1. GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Na língua inglesa a palavra *management* pode ser entendida como gestão ou gerenciamento sem distinção, diferentemente da língua Portuguesa falada no Brasil, onde o gerenciamento está mais relacionado com as atividades operacionais, enquanto que a palavra gestão possui um sentido mais estratégico (BARROS, 2012).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) faz tal distinção entre os termos ao definir gestão integrada de resíduos sólidos como conjunto de ações voltadas para a busca de soluções de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social. No mesmo texto define gerenciamento de resíduos sólidos como conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, de acordo com plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

Para Deus et al. (2016) no Brasil existem muitos municípios que não descartam seus resíduos em aterros compatíveis com os padrões regulatórios, nesse sentido, pode-se entender as dificuldades dos gestores em adequar-se a PNRS. Deus et al. (2016) ainda enfatizam a cooperação intermunicipal para municípios com menos de 100 mil habitantes e a adoção de programas integrados de manejo de resíduos, como formas de minimizar os impactos negativos provenientes da produção e destinação de resíduos.

Conforme a PNRS, tanto no âmbito estratégico como operacional, a prioridade está, ou deveria estar, nas ações de prevenção da problemática envolvendo a produção de resíduos sólidos, sendo aplicada a seguinte hierarquia: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e realizada a disposição final ambientalmente adequada somente para os rejeitos (BRASIL, 2010).

Possivelmente devido aos hábitos e crescimento da população humana, as primeiras ações hierárquicas supracitadas não são tão incentivadas como os processos de remanufatura. Segundo Tang e Zhou, (2012), os processos de remanufatura são importantes nas operações

reversas das cadeiras de suprimentos, pois devido ao aumento dos custos de matérias-primas e energias, a remanufatura pode ser uma atividade estratégica capaz de melhorar a lucratividade reduzindo os custos de produção e estoques, em vez de uma atividade de conformidade regulatória.

As pressões de mercado e de regulamentações, também podem ser entendidas como oportunidades de inovação e criação de valor, segundo Porter e Linde (1995) padrões ambientais adequadamente projetados podem diminuir custos e/ou agregar valor, permitindo as empresas a utilização de insumos de forma mais produtiva, compensando em custos relativos a impactos ambientais e sociais.

As gestões operacionais segundo Bettley e Burnley, (2008), são os principais responsáveis pelos impactos em sustentabilidade. Para Walton, *et al.* (2006), as empresas devem desenvolver iniciativas de estratégias ambientais, em toda a cadeia de suprimentos, mais amplas que o simples atendimento as regulamentações e integrado com os fornecedores para diminuir custos e atender aos usuários.

Para Silva (2018) investir em políticas públicas de educação ambiental influencia diretamente a sociedade, no entanto, apenas isso não é suficiente para permitir e reorganizar as cadeias de valor de resíduos e torná-las viáveis e constantes ao longo do tempo, fazendo-se necessárias políticas setoriais e de inovação associadas às políticas ambientais capazes de incentivar o desenvolvimento sustentável.

O desenvolvimento sustentável é uma preocupação mundial e uma necessidade em todos os setores da economia, e nas atividades de gestão e gerenciamento de resíduos sólidos não é diferente, principalmente devido à complexidade e quantidade de resíduos produzidos pelos centros urbanos, neste sentido gestores e pesquisadores buscam alternativas tecnológicas e inovadoras para aprimorar os sistemas ineficazes e convencionais (MISRA *et al.*, 2018, WEN *et al.*, 2017, YERRABOINA *et al.*, 2018).

## 2.2. MÉTODOS MULTRICRITÉRIO NA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Embora seja evidente o potencial das tecnologias sustentáveis e inovadoras, torna-se difícil planejar e projetar alternativas de sistemas para a gestão de resíduos sólidos urbanos devido à complexidade do problema, por isso, os métodos multicritérios podem auxiliar na seleção dos melhores cenários ou alternativas. Observa-se na literatura a utilização de diferentes métodos multicritérios de apoio à decisão, aplicados a gestão de resíduos, sendo os

mais recorrentes o TOPSIS, PROMETHE e ELECTRE (TOPALOGLU *et al.* 2018; ARIKAN, *et al.* 2017; COBAN, *et al.*, 2018; HLATKA, *et al.*, 2018; JOVANOVIC *et al.*, 2016; MIR *et al.*, 2016; PIRES, *et al.*, 2011; KHALILI e DUECKER, 2013) como técnicas para seleção e/ou ranqueamento de cenários/alternativas de gestão e gerenciamentos de resíduos.

Topaloglu *et al.* (2018) sugerem uma metodologia multicritério (FuzzyTopsis tipo 2) para avaliar e classificar sistemas alternativos de coleta de lixo em um ambiente urbano inteligente em um estudo de caso real em Eskisehir, na Turquia. Para tanto, os conceitos de design são baseados em tecnologias emergentes de informação e comunicação (TICs), os critérios de avaliação são determinados considerando as necessidades locais dos especialistas municipais.

Arikan *et al.* (2017) estudaram alternativas usadas no mundo como sugestões para possíveis implementações em Istanbul, na Turquia. Os autores avaliaram dez alternativas de descarte de resíduos sólidos por meio de dezoito critérios determinados por especialistas, para selecionar a melhor tecnologia de descarte. Três métodos diferentes de tomada de decisão multicritério foram utilizados para seleção, sendo eles a técnica para ordem de preferência de por Semelhança com a Solução Ideal - TOPSIS, Método de Organização de Classificação de Preferência para Avaliações de Enriquecimento - PROMETHEE.

Já Hlatka *et al.*, (2018) propuseram alternativas para aumentar a eficácia da coleta seletiva e reduzir o custo do gerenciamento de resíduos em Pyšely, os critérios e as alternativas foram fundamentadas em resultados parciais da análise do estado atual do sistema e da classificação dos resíduos urbanos, bem como os resultados de uma pesquisa por questionário com os moradores do município.

Neste sentido Coban *et al.* (2018) estudaram várias técnicas em oito cenários de disposição de resíduos sólidos, avaliados com base em sete critérios determinados pelas opiniões dos especialistas. Os autores utilizaram a técnica de preferência de ordem por similaridade à solução ideal (TOPSIS), e o método de organização de classificação de Preferência para avaliações de enriquecimento (PROMETHEE I e PROMETHEE II).

Ainda Jovanovic *et al.* (2016) apresentam um procedimento para escolher o sistema de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos ideal para a cidade de Kragujevac (República da Sérvia) com base em dois métodos de tomada de decisão de múltiplos atributos, SAW (método de ponderação aditiva simples) e TOPSIS, respectivamente, foram usados para comparar as estratégias de gestão de resíduos propostas.

Enquanto que Mir *et al.* (2016) estudam um modelo de avaliação por meio do método Topsis, aplicada para obter a melhor forma municipal de gestão de resíduos sólidos comparando e classificando 11 cenários, e o método de solução de compromisso '*Viekriterijumsko Kompromisno Rangiranje*' (VIKOR), aplicado para análises de sensibilidade. Segundo o autor, o modelo proposto pode auxiliar os tomadores de decisão urbanos a priorizar e selecionar um sistema de tratamento de resíduos sólidos urbanos (RSU) otimizado.

Pires *et al.* (2011) apresentam uma pesquisa utilizando AHP e TOPSIS para triagem alternativa e classificação para auxiliar os tomadores de decisão em um sistema de gestão de resíduos. O processo de tomada de decisão levou ao rastreio e classificação de 18 alternativas de gestão para melhorar a sustentabilidade da gestão de resíduos sólidos na região de Setúbal, Portugal. Os critérios foram divididos em aspectos técnicos, ambientais, econômicos e sociais.

Khalili; Duecker (2013) estudam um modelo para selecionar e projetar a solução de gerenciamento de resíduos de levedura de uma indústria de bebidas energéticas e barras dietéticas para isso os autores utilizam a metodologia ELETRE III. Nesse sentido, muitos estudos que buscam alternativas para a gestão de resíduos sólidos urbanos fazem associação com múltiplos critérios, para tornar os processos decisórios mais racionais e objetivos, principalmente quando se trata de decisões operacionais, como é o caso de projetos de sistemas tecnológicos.

A internet e as novas tecnologias estão transformando o mundo e as organizações, essas mudanças fazem com que as empresas busquem processos produtivos alternativos e os transformem em oportunidades sustentáveis como forma de criação e valor para seus modelos de negócios (HART; MILSTEIN, 2003 E UEDA *et al.*, 2009).

### 2.3. CIDADES SUSTENTÁVEIS

Muitas são as frentes de trabalho para aprimorar a eficiência nos sistemas de gestão de resíduos sólidos urbanos, nesse sentido comunidades tem promovido iniciativas sustentáveis para promover a melhoria da gestão e do gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos.

Nessa subseção serão apresentados três exemplos de iniciativas de gerenciamento de resíduos que apresentaram resultados positivos aos gestores e que possuem potencial promissor para a sustentabilidade municipal.

No Brasil, na cidade de Salvador, foram implementadas ações integradas de educação ambiental com coleta seletiva, para isso o município adota a os Ecopontos e pontos de coleta voluntária, como áreas temporárias destinadas ao recebimento de pequenos volumes de resíduos de construção civil e outros resíduos recicláveis, também organizou outros locais para o recebimento e acondicionamento temporário de óleo de cozinha, pilhas e baterias, materiais eletrônicos e medicamentos, e para informar a população fez-se o desenvolvimento de um aplicativo como forma de promover a educação ambiental e indicar os pontos de coleta (PREFEITURA DE SALVADOR, 2020).

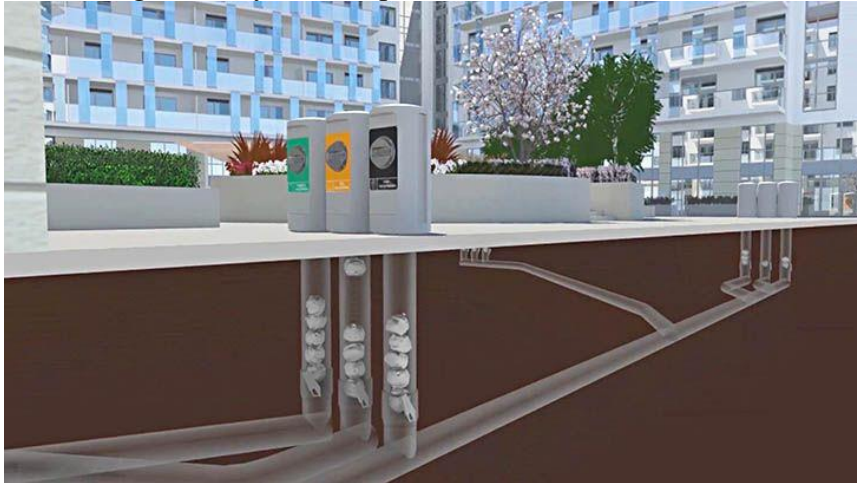
Apesar de muito importante a educação ambiental e a implantação de pontos para a coleta seletiva, existem países inovando e rompendo paradigma, é o caso por exemplo de Estolcomo, que desenvolveu um emaranhado de sistemas tecnológicos complexos de gerenciamento de resíduos.

Já a cidade de Estocolmo na Suécia desenvolveu um sistema que ao depositar os resíduos em uma lixeira, o material é sugado para um local de armazenamento temporário, onde permanece até que um sistema de sensores reconheça a capacidade máxima, quando isso ocorre um caminhão recolhe os resíduos e faz a destinação para um centro de segregação e reciclagem automatizado, capaz de separar os resíduos conforme o tipo de material (NEDER, 2012).

Entretanto os municípios não são os únicos responsáveis por essa quebra de paradigma, em muitas oportunidades as empresas são personagens fundamentais para proporcionar a tecnologia necessária, é o caso da ENVAC que presta serviços de gestão de resíduos utilizando tecnologia em diversos países e diversos setores econômicos como, por exemplo, em cozinhas industriais, em hospitais e centros urbanos residenciais.

Na figura 1 é possível visualizar o layout do transporte pneumático dos resíduos por um sistema de sucção subterrâneo.

Figura 1: layout transporte subterrâneo de resíduos.



Fonte: Envac<sup>1</sup>

Nesse tipo de sistema é possível observar que as lixeiras estão dispostas acima da superfície e os resíduos não ficam acumulados nos respectivos recipientes, mas são instantaneamente transportados para uma central.

Esses sistemas que envolvem tecnologia de ponta são extremamente promissores, porém existem outras maneiras de inovar nos modelos de gestão de resíduos, como é o caso da cidade de Capannori na Itália aderiu ao compromisso de diminuir significativamente a geração de resíduos e através das suas ações incentivou positivamente a Europa com a campanha Zero Waste.

A cidade de Capannori inovou no sistema de coleta porta em porta com incentivos através de taxas e tarifas de resíduos no sistema Pay As You Throw, que pode ser traduzido como pague conforme você descarta. O referido sistema associado ao controle da frequência de coleta por estabelecimento, proporcionou, dimensionar tarifas distintas para as os que produzem quantidades diferentes de resíduos, bem como para quem não realizam o descarte adequadamente. Com utilização de microchips fixados nas sacolas de resíduos e um leitor no veículo de coleta, é possível mensurar de forma estimada a quantidade de resíduos gerados e descartados no sistema porta em porta. Esse modelo e sistema de tarifa incentivou a segregação adequada dos resíduos reduzindo drasticamente a quantidade de resíduos destinados de forma errada (HENAM; SAMBYAL, 2019).

---

<sup>1</sup> Disponível em: <<https://www.envacgroup.com/>> acesso em setembro de 2020.

### 3. PLANEJAMENTO DA PESQUISA

Tendo em vista a abrangência do tema neste projeto, é apresentado como será à disposição do modelo de seleção tecnologias para aperfeiçoar o atual sistema de gestão municipal de resíduos sólidos urbanos, delimitando os aspectos a serem observados e as variáveis a serem trabalhadas.

#### 3.1. PLANO DE PUBLICAÇÃO

O presente documento segue o plano de publicação estabelecido pelo autor e orientador, conforme demonstrado no quadro 1.

Quadro 1– Plano de publicação.

Artigo	Situação	Revista/Congresso
<i>Diagnostic model in sustainable and innovative operations for municipal solid waste management</i>	Apresentado Abril 2019	Submissão <i>2<sup>nd</sup> World Symposium on Sustainability Science and Research</i>  Publicação <i>International Business, Trade and Institutional Sustainability</i>
<i>Decision model for selecting advanced technologies for municipal solid waste management</i>	Apresentado Abril 2019	Submissão <i>2<sup>nd</sup> World Symposium on Sustainability Science and Research</i>  Publicação <i>International Business, Trade and Institutional Sustainability</i>
<i>Modelo de seleção de tecnologias na gestão de resíduos sólidos urbanos</i>	Processo de submissão Novembro 2020	<i>Journal of Environmental Management &amp; Sustainability</i>

Fonte: autoral.

#### 3.2. CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa tem por premissa estudar a seleção de tecnologias consideradas com potencial de inovação e sustentabilidade, e objetiva propor um modelo para seleção de tecnologias capazes de aprimorar o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos municipais principalmente no âmbito da coleta seletiva municipal.

A pesquisa é caracterizada como descritiva-explicativa na fase de diagnóstico e descritivo-prescritivo na fase de aplicação do modelo, com estudos de caso com uma abordagem qualitativa na coleta de dados (pesquisas bibliográficas e entrevistas) e quantitativa no equacionamento e análise dos dados pelos métodos multicritério.

Segundo Cauchick Miguel (2012), estudo de caso é de caráter empírico e estuda um fenômeno dentro de um contexto real, por meio de análises de um ou mais objetos(casos).

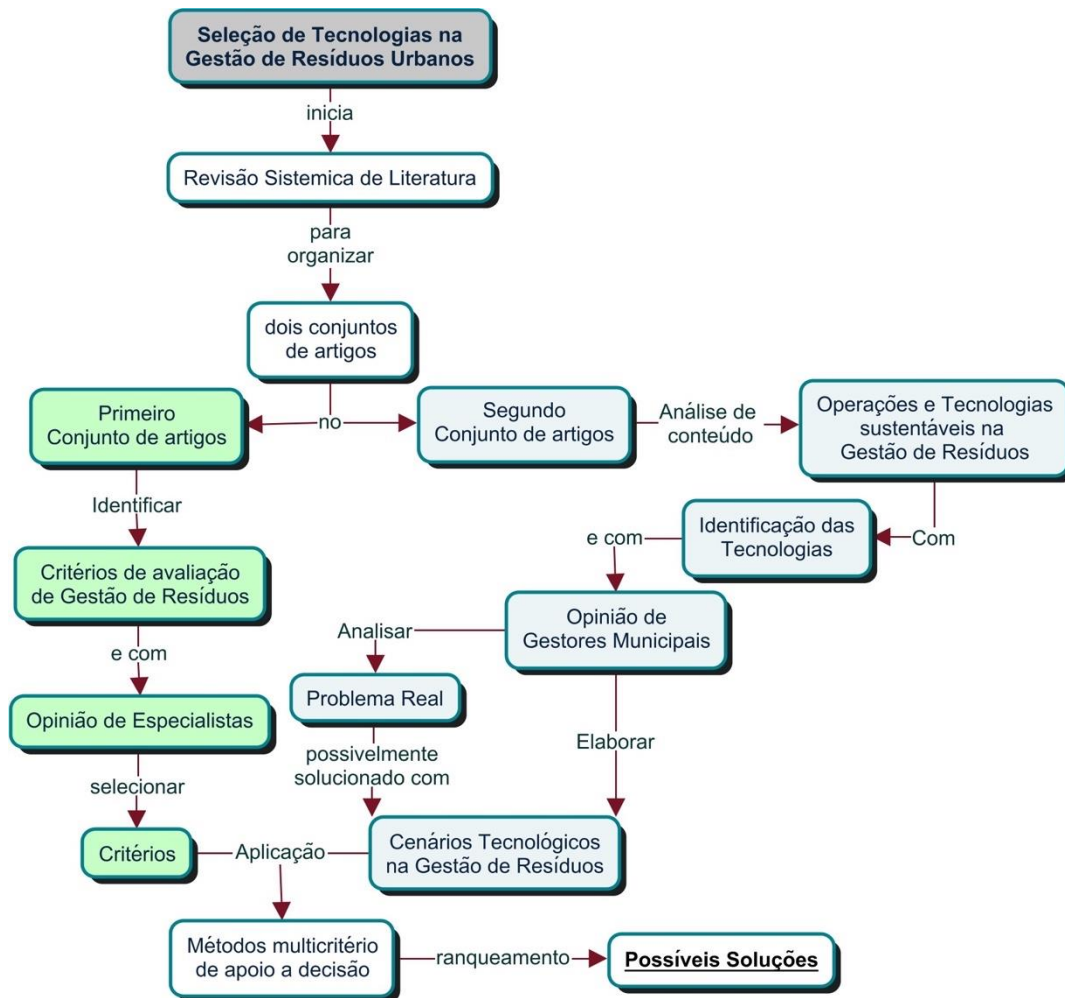
### 3.3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

O presente trabalho apresenta um modelo conceitual de avaliação, com finalidade de auxiliar os gestores municipais e responsáveis técnicos, na seleção de tecnologias para gerenciamento de resíduos sólidos urbanos.

A estruturação do modelo iniciou com a revisão da literatura, permitindo identificar critérios de avaliação da gestão de resíduos sólidos bem como operações e tecnologias sustentáveis para essa gestão. A junção dos critérios com as tecnologias existentes, aplicado a um problema real é resolvido com o emprego de métodos multicritérios, estruturando o modelo (Figura 2).



Figura 2: Modelo de seleção de tecnologias para a gestão de resíduos.



Fonte: autoral.

A estruturação do modelo inicia com uma revisão sistemática da literatura para organizar dois conjuntos de artigos e assim poder realizar uma análise de conteúdo dos referidos artigos.

O primeiro conjunto de artigos é analisado com objetivo de identificar critérios de avaliação. Os critérios identificados na literatura são apresentados a especialistas para seleção daqueles mais relevantes para aplicação dos métodos multicritérios de escolha de tecnologias.

O segundo conjunto de artigos é analisado com intuito de identificar características de operações sustentáveis e tecnologias inovadoras. Essas características, apresentadas a gestores municipais, poderão fundamentar possíveis soluções para um problema real apresentado pelo gestor.

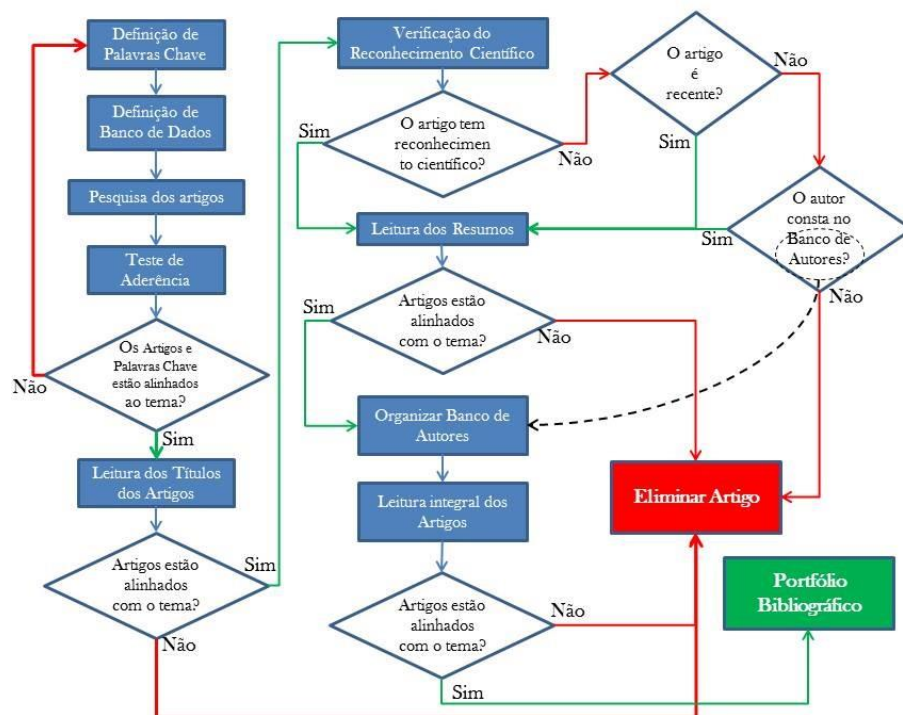
Com os critérios selecionados e a organização de possíveis soluções para um problema real, a aplicação dos métodos multicritérios de apoio à decisão tornará possível um ranqueamento das tecnologias, podendo ser indicada a melhor solução.

A seguir a sequência metodológica é apresentada com mais detalhes, conforme a lógica do mapa conceitual observado na Figura 3.

### 3.4. REVISÃO SISTÊMICA DE LITERATURA (RSL) PARA ORGANIZAÇÃO DE CONJUNTOS DE ARTIGOS

A revisão sistêmica da literatura, com o objetivo de organizar dois conjuntos de artigos, utilizou o instrumento de intervenção proposto por Ensslin *et al.* (2010), o *Knowledge Development Process-Constructivist (ProKnow-C)*, cuja a metodologia *ProKnow-C* segue uma sequência de etapas, o qual inicia com a definição de eixos de pesquisa e palavras-chave, até a organização do Portfólio Bibliográfico (Figura 3).

Figura 3: Resumo das etapas do *ProKnow-C*.



Fonte: autoral.

Posterior à organização dos conjuntos bibliográficos, faz-se análise sistêmica de conteúdo dos artigos, identificando indicadores de avaliação em estudos de caso para diferentes contextos (primeiro conjunto de artigos), além de características de operações e tecnologias sustentáveis e inovadoras na gestão de resíduos (segundo conjunto de artigos).

O primeiro conjunto de artigos permitiu então identificar os critérios prévios que têm sido utilizados na literatura. Posteriormente esses critérios serão validos por especialistas.

O segundo conjunto de artigos permite identificar tecnologias que podem ser propostas para os gestores municipais na solução de um problema real.

### 3.5. SELEÇÃO DOS CRITÉRIOS – ENTREVISTA COM ESPECIALISTAS

No primeiro conjunto de artigos obtido na revisão sistêmica da literatura, realiza-se análise de conteúdo, para identificação dos critérios e diferentes métodos multicritérios utilizados para avaliação.

Os resultados encontrados no segundo conjunto de artigos foram apresentados a especialistas, por meio de entrevista para que os mesmos pudessem avaliar a aplicabilidade no dia a dia da gestão municipal.

Os critérios identificados, pelo primeiro conjunto de artigos, foram apresentados para especialistas do sistema nacional convencional de gestão de resíduos, com objetivo de selecionar os critérios relevantes para a implementação de sistemas de gestão de resíduos sólidos municipais.

Foram apresentados os critérios identificados na literatura (primeiro conjunto de artigos) por meio de planilha, e solicitou-se que os especialistas assinalassem com “X” quais critérios seriam relevantes para a implantação e operação de sistemas de gestão de resíduos sustentáveis e inovadores.

Os critérios considerados relevantes por todos os entrevistados foram selecionados como relevantes para o modelo. Esses critérios foram divididos pelo autor em três categorias (ambiental, econômico e social), conforme contextualização da análise de conteúdo do primeiro portfólio bibliográfico.

### 3.6. ESTRUTURAÇÃO DO MODELO

Após definidos os critérios, pela consulta com especialistas, e as tecnologias por meio da revisão de literatura, pode-se identificar o problema real a ser solucionado por meio de entrevista com o decisor (es). O (s) decisor (es) pode ser diversos atores de um contexto, podem ser especialista (s), gestor (es) municipal, profissional (is) técnico (s), até mesmo a própria população usuário do sistema.

Uma entrevista semiestruturada, de contextualização sobre as dificuldades cotidianas no gerenciamento de resíduos sólidos, é realizada com o intuito de identificar um ou mais problemas reais capazes de serem solucionados ou minimizados com as informações apresentadas.

A obtenção de informações e identificação do problema é resultado de um roteiro de entrevista de perguntas abertas (Quadro 2).

Quadro 2: Roteiro inicial de entrevista com o decisor.

#### **ROTEIRO ENTREVISTA INICIAL – ENTREVISTA 1.**

##### PERGUNTAS DE CONTEXTUALIZAÇÃO.

- O município atualmente possui sistema de coleta de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)? Próprio ou terceirizado?
- Como são definidas as rotas ou áreas com prioridade para coleta?
- Como é realizada a identificação dos tipos de RSU coletados?
- Como é realizada a segregação dos RSU coletados? (Cooperativa, empresa terceira, catadores, entre outros)
- Quais ações são realizadas com objetivo de diminuir a geração de RSU no município?
- Quais ações são realizadas com objetivo de aumentar a segregação dos RSU na fonte e consequentemente diminuir a quantidade de resíduos destinados aos aterros?

Apenas em caso de sistemas de coleta terceirizados

- Como é realizada a contratação dos serviços?
- Como é realizado o pagamento pelos serviços? (taxa fixa ou variável ou outro)

Fonte: autoral.

A partir da entrevista com o decisor, faz-se a identificação dos problemas ou situações que podem ser aprimoradas com a utilização de sistemas tecnológicos e inovadores.

Dessa forma, como avaliação, faz-se a elaboração de possíveis cenários/alternativas para aprimorar o atual sistema de gestão de resíduos municipais. Para avaliar essas alternativas é preciso considerar os critérios previamente identificados com os especialistas. No entanto esses critérios podem ter pesos de importância diferentes para cada decisor, desse modo o decisor deve realizar uma comparação pareada dos critérios, conforme o anexo I, orientação para priorização dos critérios, com base no Processo Analítico Hierárquico (AHP). Por meio da média aritmética dos resultados, fez-se a atribuição dos pesos.

Diante do exposto, com a validação dos cenários e definição dos pesos para os critérios selecionados, faz-se a aplicação da metodologia FuzzyTopsis pelo decisor, para ordenar as possíveis soluções.

### 3.6.1. Métodos multicritérios FuzzyTopsis para seleção de tecnologias.

Para hierarquização dos critérios utiliza-se a metodologia “*Analytic Hierarchy Process*” (AHP) para a análise dos julgamentos dos critérios, sendo realizado através da relação par a par entre eles, para isso utiliza-se a classificação de Saaty, (1977) apresentada na Tabela 1.

Tabela 1: Escala Fundamental de Saaty.

Valor	Definição	Explicação
1	Igual importância	Contribuição idêntica
3	Fraca importância	Julgamento levemente superior
5	Forte importância	Julgamento fortemente a favor
7	Muito forte importância	Dominância reconhecida
9	Importância absoluta	Dominância comprovada
2,4,6,8	Valores intermediários	Dúvida

Fonte: adaptado Saaty (1977).

Através da hierarquização dos critérios, pode-se aplicar a metodologia FuzzyTopsis para “n” critérios e “m” alternativas (possíveis soluções), que compreende ter uma distância mínima da solução ideal positiva e distância máxima da solução ideal negativa (GUPTA; BARUA 2018). A solução Positiva Ideal é a solução que maximiza os critérios de benefício e

minimiza os critérios de custo, ao passo que a Solução Negativa Ideal é a solução que maximiza os critérios de custo e minimiza os critérios de benefícios (MESQUITA, 2014).

Chen (2000) compreende o Topsis como Números Fuzzy (FN) triangulares, introduzindo um método de vértice para calcular a distância entre dois FNs triangulares. Se  $\tilde{x} = (a1, b1, c1)$ ,  $\tilde{y} = (a2, b2, c2)$  são dois FNs triangulares (Equação 1).

$$d(\tilde{x}, \tilde{y}) := \sqrt{\frac{1}{3} [(a1 - a2)^2 + (b1 - b2)^2 + (c1 - c2)^2]} \quad (1)$$

A seguir são demonstrados os passos do método FuzzyTopsis para tomada de decisão de alternativas, de acordo com Nădăban *et al.* (2016).

No *passo 1* tem-se a classificação de atribuição aos critérios e às alternativas. Assumimos que temos um grupo de tomadores de decisão com membros do K. A classificação Fuzzy do decisor  $k^{\text{th}}$  sobre alternativas  $A_i$  w.r.t. critério  $C_j$  é denotado  $\tilde{x}_{ij}^k = (a_{ij}^k, b_{ij}^k, c_{ij}^k)$  e o peso do critério  $C_j$  é denotado  $\tilde{w}_{kj} = (wkj1, wkj2, wkj3)$ .

A seguir no *passo 2* calculam-se as classificações difusas agregadas para as alternativas (Tabela 2) e os pesos difusos agregados para os critérios (Tabela 3).

Tabela 2: Valores linguísticos de IVIFS para termos linguísticos.

Termo Linguístico	IVIFS
Baixo (B)	(0,0;0,1;0,3)
Razoavelmente Baixo (RB)	(0,1;0,3;0,5)
Médio (M)	(0,3;0,5;0,7)
Razoavelmente Alto (RA)	(0,5;0,7;0,9)
Alta (A)	(0,7;0,9;1,0)

Fonte: adaptado Nădăban *et al.* (2016).

Tabela 3: Escala de preferência Fuzzy.

Termo Linguístico	Valor
Igual importância	1
Fraca importância	3
Forte importância	5
Muito forte importância	7
Importância Absoluta	9

Fonte: adaptado Nădăban *et al.* (2016).

A classificação fuzzy agregada  $\tilde{x}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$  de  $i^{\text{th}}$  alternativa w.r.t.  $j^{\text{th}}$  critério é obtido da seguinte forma, ver equação 2.

$$a_{ij} = \frac{\min}{k} \{a^k_{ij}\}, b_{ij} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K b^k_{ij}, c_{ij} = \frac{\max}{k} \{c^k_{ij}\}. \quad (2)$$

O peso fuzzy agregado  $\tilde{w}_j = (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3})$  para o critério  $C_j$  é calculado por fórmulas:

$$w_{j1} = \frac{\min}{k} \{w^k_{j1}\}, w_{j2} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K w^k_{j2}, w_{j3} = \frac{\max}{k} \{w^k_{j3}\}. \quad (3)$$

Calcula-se então, no *passo 3*, a matriz de decisão fuzzy normalizada. A matriz de decisão fuzzy é normalizada é  $\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]$ , (Equação 4) e (Equação 5).

$$\tilde{r}_{ij} = \left( \frac{a_{ij}}{c^*_j}, \frac{b_{ij}}{c^*_j}, \frac{c_{ij}}{c^*_j} \right) \text{ e } c^*_j = \frac{\max}{i} \{c_{ij}\} \text{ (critério de benefício)} \quad (4)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left( \frac{a^-_j}{c_{ij}}, \frac{a^-_j}{b_{ij}}, \frac{a^-_j}{a_{ij}} \right) \text{ e } c^-_j = \frac{\min}{i} \{a_{ij}\} \text{ (critério de custo)} \quad (5)$$

Após isso calcular a matriz de decisão fuzzy normalizada ponderada (*passo 4*). A matriz de decisão fuzzy normalizada ponderada é  $\tilde{V} = (\tilde{v}_{ij})$ , onde  $\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} \times w_j$ . Na sequência (*passo 5*) determina-se a Solução Ideal Positiva Difusa (SIPD) (Equação 6) e a Solução Ideal Negativa Difusa (SIND) (Equação 7). O SIPD e o SIND são calculados da seguinte forma:

$$A^* = (\tilde{v}_1^*, \tilde{v}_2^*, \dots, \tilde{v}_n^*), \text{ onde } \tilde{v}_j^* = \frac{\max}{i} \{v_{ij3}\}; \quad (6)$$

$$A^- = (\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-), \text{ onde } \tilde{v}_j^- = \frac{\min}{i} \{v_{ij1}\}; \quad (7)$$

Calcula-se (*passo 6*) a distância de cada alternativa ao SIPD e ao SIND. Seja a distância de cada alternativa  $A_i$  ao SIPD e ao SIND, respectivamente, ver equação 8.

$$d_i^* = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^*), d_i^- = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-) \quad (8)$$

No *passo 7* obtém-se o coeficiente de proximidade  $CC_i$  para cada alternativa. Para cada alternativa  $A_i$  calcula-se o coeficiente de proximidade  $CC_i$  da seguinte (Equação 9).

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \quad (9)$$

Finalmente no *passo 8* classificam-se as alternativas. A alternativa com maior coeficiente de proximidade representa a melhor alternativa. O método FuzzyTopsis é aplicado utilizando uma programação em planilha eletrônica.

Para aplicação da metodologia FuzzyTopsis, os decisores (especialistas) preencheram uma planilha com variáveis linguísticas (Tabela 3), relacionando os cenários com os pesos dos critérios.

### 3.7. PROTOCOLO DA PESQUISA

O processo de avaliação, por ser dinâmico no cotidiano dos municípios e deve levar em consideração as características exclusivas de cada situação, dessa forma o protocolo de pesquisa pode ser dinâmico e variar nas suas etapas, conforme as percepções do consultor e do decisor. Toda via, os conceitos péticos e critérios a serem considerados, devem se manter ao longo de todo o processo de evolução da pesquisa.

As entrevistas são realizadas com finalidades distintas. Na primeiramente entrevista faz-se necessário entender quais critérios e conceitos são importantes para o tema em questão, por isso, a partir de entrevista com decisores (especialistas) faz-se a seleção de critérios que serão fundamentais para nortear a seleção das tecnologias.

Após entendimento dos conceitos e critérios tratados com os decisores (especialistas), pode-se partir para a identificação de uma problemática em um contexto real.

Conforme o município e contexto, outras entrevistas podem ser realizadas com gestores, responsáveis técnicos e especialistas, ou seja, aquele que irá tomar a decisão. Tal abordagem com o decisor irá proporcionar a contextualização e entendimento das particularidades dos processos de gestão de resíduos daquele município, bem como, a identificação das dificuldades e problemáticas no processo de gerenciamento adotado pelo município.

Após o entendimento da dinâmica do município, são propostas alternativas/cenários tecnológicos e inovadores para o gerenciamento de resíduos, essas soluções são fundamentadas pelas ideias observadas na análise de conteúdo do segundo conjunto de artigos, conforme a revisão sistêmica de literatura.

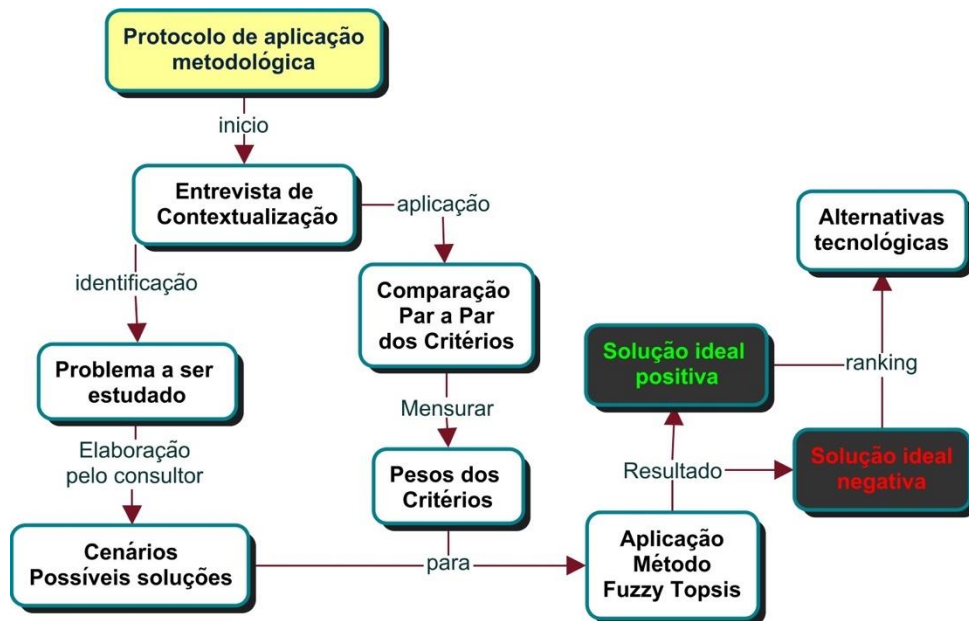


Nesta etapa os critérios selecionados pelos especialistas são apresentados aos decisores para a hierarquização por ordem de preferência desses critérios com método AHP.

Com a hierarquização dos critérios pela preferência do decisor, e com a organização conceitual das possíveis soluções propostas pelo consultor, faz-se a aplicação da metodologia de apoio a decisão multicritério FuzzyTopsis para ranquear e selecionar as alternativas da solução ideal positiva para a solução ideal negativa.

Na figura 4 consta um mapa conceitual para melhor entendimento das etapas de coleta de dados por meio de entrevistas com especialistas e decisores, para aplicação dos métodos multicritérios.

Figura 4: Protocolo de aplicação metodológica



Fonte: autoral.

É importante ressaltar que este modelo de seleção de tecnologias é dinâmico e pode variar conforme o contexto para aplicação.

No Quadro 3 consta as características protocolo de aplicação da metodologia a ser adotado.

Quadro 3: Protocolo de pesquisa.

<b>Etapas da Pesquisa</b>	<b>Finalidade da atividade</b>	<b>Procedimentos adotados</b>
Revisão de literatura	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identificação de critérios e metodologias utilizadas para avaliações da gestão de resíduos sólidos;</li> <li>- Identificação das iniciativas estratégicas e tecnológicas para aprimoramento dos processos convencionais de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Busca de informações na literatura, artigos, trabalhos acadêmicos;</li> <li>- Organização de artigos a serem estudados;</li> <li>- Análise sistêmica de artigos;</li> </ul>
Entrevista com especialistas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identificar os principais problemas e as dificuldades sob a ótica de especialistas com relação ao tema proposto;</li> <li>- Selecionar critérios de gestão de resíduos;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entrevista semiestruturada profissionais especialistas no sistema convencional de gestão de resíduos sólidos urbanos;</li> <li>- Entrevista com perguntas abertas para o entendimento das dificuldades expressadas pelos especialistas;</li> <li>- Perguntas fechadas para seleção dos critérios;</li> </ul>
Entrevista com decisor (gestor, responsável técnico ou especialista)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identificar os principais problemas e as dificuldades sob a ótica dos gestores especialistas com relação ao tema proposto;</li> <li>- Identificar um problema em um contexto real;</li> <li>- Obter uma ordem hierárquica de preferência dos critérios selecionados pelos especialistas;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entrevista semiestruturada com gestores municipais no sistema convencional de gestão de resíduos sólidos urbanos;</li> <li>- Entrevista com perguntas abertas para o entendimento das dificuldades expressadas pelos gestores municipais e para a identificação de um problema real;</li> <li>- Perguntas fechadas para hierarquização dos critérios;</li> </ul>
Aplicação do método multicritério	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Testar o modelo proposto no presente trabalho;</li> <li>- Avaliar a solução obtida para um determinado problema de um contexto;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aplicação do método multicritério para seleção de tecnologias.</li> </ul>
Conclusão	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analisar os resultados para os casos analisados.</li> </ul>	

Fonte: autoral.

No presente estudo, a aplicação no município 1 a ordenação das alternativas não foi realizada pelo gestor, mas pelo conjunto de especialista, como uma solução para verificar a eficácia do modelo. A aplicação no município 2 foi realizada com a ordenação por meio do gestor municipal.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção são descritas as abordagens adotadas em cada uma das situações propostas e os resultados obtidos no presente estudo.

### 4.1. REVISÃO SISTÊMICA DE LITERATURA

Na aplicação da metodologia *Proknow-C*, que se inicia com a definição das palavras-chave, neste caso fez-se a seleção de 23 termos de busca divididos em 3 eixos de pesquisa. Na tabela 4 constam os termos de busca escritos conforme utilizados no processo de pesquisa nas bases de dados bibliográficas.

Tabela 4: Eixos e termos de pesquisa.

<b>Eixos de pesquisa</b>	<b>Eixo 1 Diagnóstico e Auditoria</b>	<b>Eixo 2 Operações Sustentáveis</b>	<b>Eixo 3 Gestão de Resíduos</b>
<b>Termos de pesquisa</b>	Diagn*	Sustainab*	"waste management"
	Audit*	"Triple bottom line"	"Solid waste"
	Evaluat*	"Value creation"	"Municipal waste"
	analy*	"Business model"	"Zero waste"
	Perform*	"Smart Cit**"	
	assess*	IOT	
	Manag*	"Internet of things"	
	Means*	Recyc*	
		Upcyc*	
		Reduc*	
	Reus*		

Fonte: autoral

As pesquisas foram realizadas nas bases de dados *Web of Science* e *Scopus*. Foram realizadas combinações dos termos de busca entre os eixos, as pesquisas foram limitadas em 10 anos e apenas com artigos científicos, as referências resultantes foram inseridas no *software Mendeley*, onde foram excluídos os duplicados e/ou repetidos, totalizando assim um resultado de 21.040 artigos. O processo continuou com a análise dos títulos, que resultou em 503 obras alinhadas ao tema de pesquisa.

Na análise do reconhecimento científico, fez-se a verificação das citações na base de dados Google scholar, os artigos com mais de 5 citações na referida base continuaram no processo sistemático.

Valem destacar os 10 artigos mais citados, que indicam um quantitativo acima ou próximo de 100 citações, corroborando a relevância científica referente ao tema de pesquisa.

Na tabela 5 são apresentadas as 10 referências com mais citações, ou com maior relevância.

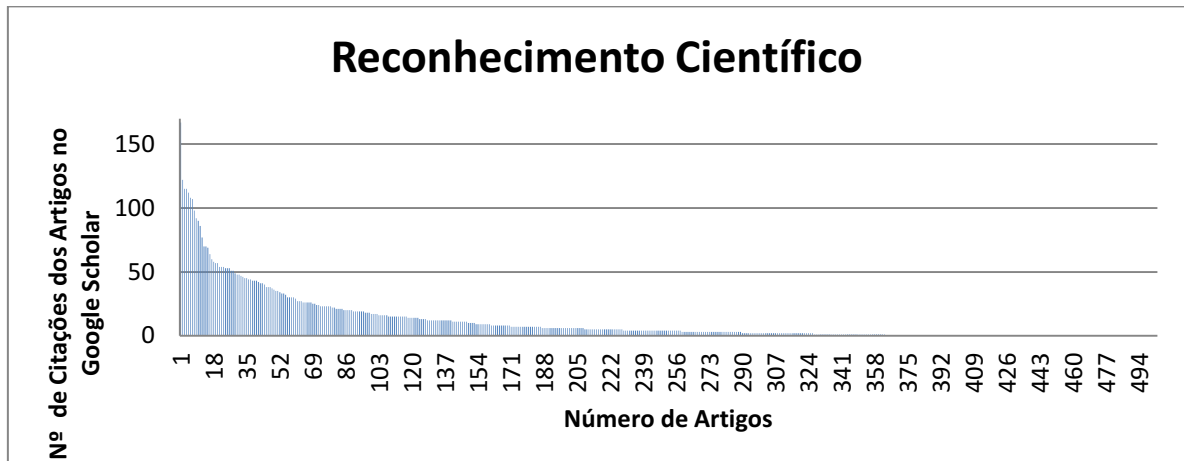
Tabela 5: Referências com maior relevância conforme termos de busca e pesquisa.

Número de Citações	Ano	Título	Periódico
167	2011	A multicriteria decision making model for reverse logistics using analytical hierarchy process	Omega-international journal of management science
122	2010	Evaluation of innovative municipal solid waste management through urban symbiosis: A case study of Kawasaki	Journal of Cleaner Production
115	2013	Application of multi-criteria decision analysis in design of sustainable environmental management system framework	Journal of Cleaner Production
115	2013	The zero waste index: A performance measurement tool for waste management systems in a 'zero waste city'	Journal of Cleaner Production
112	2011	Na AHP-based fuzzy interval TOPSIS assessment for sustainable expansion of the solid waste management system in Setúbal Peninsula, Portugal	Resources, Conservation and Recycling
108	2010	A system Dynamics modeling approach for evaluating municipal solid waste generation, landfill capacity and related cost management issues	Waste Management
107	2010	Using QFD and ANP to analyze the environmental production requirements in linguistic preferences	Expert systems with applications
98	2010	Pay as you throw Strengths and weaknesses of weight-based billing in household waste collection systems in Sweden	Waste Management
92	2010	Waste collection systems for recyclables: Na environmental and economic assessment for the municipality of Aarhus (Denmark)	Waste Management
90	2013	Modeling sustainable production indicators with linguistic preferences	Journal of cleaner production

Fonte: Autoral

Outra evidencia da relevância do tema de pesquisa pode ser analisado nas informações da Figura 5, através da análise gráfica de reconhecimento científico e a quantidade de artigos que possuem citações na base pesquisada.

Figura 5: Reconhecimento científico dos artigos.



Fonte: autoral.

Identificou-se 228 artigos com mais de cinco citações, tais estudos passaram por uma análise dos resumos e 88 foram considerados alinhados ao tema da pesquisa, os autores desses artigos formaram um banco de autores com 254 autores.

Os 275 trabalhos com menos de cinco citações foram para o processo de reanálise, sendo selecionados 22. A soma das referências selecionadas resultou em 110 artigos que, através da leitura na íntegra, permitiram organizar dois conjuntos bibliográficos, no primeiro com 22 artigos (Tabela 6), o objetivo é identificar critérios de avaliação na gestão de resíduos em diferentes contextos.

Tabela 6: Referência do primeiro portfólio de artigos.

Arikan et al. (2017)	Khalili; Duecker (2013)	Rodrigues et al. (2018)
Banar et al. (2010)	Lolli et al. (2016)	Sarra et al. (2017)
Coban et al. (2018)	Makan et al. (2013)	Simões et al. (2012)
Deus et al. (2016)	Milutinović et al. (2014)	Stefanović et al. (2016)
Herva; Roca (2013)	Milutinovic et al. (2016)	Topaloglu et al. (2018)
Hlatka et al. (2018)	Mir et al. (2016)	Vucijak; Silajd (2015)
Huang et al. (2011)	Pires et al. (2011)	
Jovanovic et al. (2016)	Rigamonti et al. (2016)	

Fonte: Autoral

O segundo conjunto, com 13 artigos (Tabela 7), teve por objetivo identificar sistemas de gestão de resíduos sustentáveis e inovadores, especialmente aqueles com características tecnológicas.

Tabela 7: Referências do segundo portfólio de artigos.

Da Silva, (2018)	Dahlen et al., (2010)	Diaz-Diaz et al., (2017)
Elia et a., (2015)	Elia et al., (2018)	Gelbmann & Hammerl, (2015)
Manni & Runhaar, (2014)	Misra et al., (2018)	Rada, Ragazzi, & Fedrizzi, (2013)
Rebehy et al., (2017)	Tseng & Bui, (2017)	Wen et al., (2017)
Yerraboina, et al., (2018)		

Fonte: Autoral.

#### 4.2. ANÁLISE DE CONTEÚDO DO PRIMEIRO CONJUNTO DE ARTIGOS PARA SELEÇÃO DOS CRITÉRIOS

O primeiro conjunto bibliográfico, composto por 22 artigos, foram selecionados com o intuito de identificar critérios de avaliação da gestão de resíduos sólidos em diferentes contextos. Nesse sentido, fez-se uma análise dos artigos para identificar os critérios considerados pelos respectivos autores. Os critérios identificados podem ser observados no Quadro 4, bem como os autores dos referidos artigos.

Quadro 4: Principais critérios de avaliação observados na literatura.

	Riscos/Impactos Ambientais	Custo investimento	Custo de operação	Emissões atmosféricas	Quantidade/volume de resíduos	Aceitação pública	Criação de novos empregos	Receita	Redução/quantidade de resíduos em aterros	Taxa monetária de descarte/coleta	Custo de manutenção	Pessoal qualificado	Recuperação de energia	Recuperação de Material	Segurança e Higiene	Tempo/Frequência de coleta	Tipo de resíduo a ser coletado	Estética	Eficiência do sistema	Capacidade de Infraestrutura	Ciclo de Vida dos produtos	Custo de transporte	
(Arikan <i>et al.</i> , 2017)	X	X	X	X			X						X	X			X		X	X		X	
(Banar <i>et al.</i> , 2010)	X					X	X	X			X	X			X	X							
(Coban <i>et al.</i> , 2018)	X	X									X	X								X		X	
(Deus <i>et al.</i> , 2016)				X									X								X		
Herva; Roca (2013)	X			X					X														
(Hlatka <i>et al.</i> , 2018)		X	X									X				X	X						
(Huang, <i>et al.</i> , 2011)					X					X						X							
Jovanovic et al. (2016)	X		X	X					X														
Khalili; Duecker (2013)			X		X		X																

Continua

Quadro 3: Principais critérios de avaliação observados na literatura.

Continuação.

Lolli et al. (2016)	X					X														
Makan et al. (2013)	X	X	X	X		X	X				X							X		
Milutinović et al. (2014)	X	X	X	X	X			X												
Milutinović et al. (2016)	X	X	X	X	X			X		X										
Mir et al. (2016)		X	X	X																X
(Pires <i>et al.</i> , 2011)	X	X	X					X	X	X						X				
(Rigamonti <i>et al.</i> , 2016)			X										X	X						
Rodrigues et al. (2018)	X	X	X																	
(Sarraf, <i>et al.</i> , 2017)									X								X			
(Simões <i>et al.</i> , 2012)			X		X															
Stefanović et al. (2016)		X	X	X	X	X	X	X												
(Topaloglu <i>et al.</i> , 2018)																	X	X		
Vucijak; Silajd (2015)			X			X	X		X					X	X					

Fonte: Autoral.

Além dos critérios observados no Quadro 3 outros também foram identificados, (odor, disponibilidade de pontos de coleta, renda de recicláveis, ruído, qualidade dos resíduos, sustentabilidade, tamanho da população, taxa de reciclagem, tráfego de veículos, tratamento de resíduos, viabilidade operacional, apoio político, inovação, conscientização pública e custo com equipamentos) toda via, por não serem citados por mais de um autor não são observados no referido quadro.

Por apresentar diferentes contextos para os diversos indicadores, optou-se por agrupar critérios similares, por exemplo, Jovanovic *et al.*, (2016) utiliza materiais particulados, emissão de gases (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>O); já Stefanović *et al.*, (2016) utiliza e classifica emissões de gases efeito estufa (CO<sub>2</sub>) e emissões de gases ácidos (NO<sub>x</sub> e SO<sub>2</sub>) como indicadores ambientais. No presente trabalho todos são consideradas no critério emissões atmosféricas.

Neste sentido o critério de Riscos/Impactos ambientais que é entendido como o de maior destaque, pela sua representatividade, foram identificados nos artigos de forma explícita e por interpretação considerando formas de poluição e/ou situações capazes de causar impactos negativos aos seres vivos e aos ecossistemas em diversos contextos. Segue uma breve discussão sobre os autores e conceitos utilizados para classificação dos critérios como Riscos/Impactos ambientais.



Arikan *et al.* (2017) realiza um estudo para seleção de alternativas para disposição de resíduos e compreende Riscos/Impactos ambientais como problemas de poluição, incêndios, disseminação de doenças durante a implementação das alternativas. Já Banar *et al.* (2010) faz uma análise de cinco cenários de reciclagem referentes à composição dos resíduos sólidos urbanos, o autor faz um agrupamento dos critérios em três clusters, sendo um de benefício outro de custos e o último de riscos que compreende problema de acesso público, higiene, catadores/varredores, impacto de vetores, densidade de tráfego, acidente, potencial de poluição e fogo.

Coban *et al.* (2018) estuda 8 cenários de disposição de resíduos sólidos, considerando sete critérios, dentre eles o risco ambiental, também observado por Rodrigues *et al.* (2018) como atividade de impacto (reflexos) e tratamento de resíduos, assim como o fator de potencial de aquecimento global utilizado por Jovanovic *et al.* (2016), que é relacionado às emissões por gases atmosféricos.

Em Lolli *et al.* (2016) os critérios ambientais são subdivididos em saúde humana, mudanças climáticas, qualidade do ecossistema, recursos, lixo radioativo e madeira. Em Pires *et al.* (2011) considera-se depleção abiótica, acidificação, eutrofização, potencial de aquecimento, toxicidade humana e oxidação fotoquímica.

Herva e Roca (2013) pesquisam quatro opções de tratamento de resíduos sólidos por meio dos métodos de pegada ecológica e métodos multicritérios, os autores utilizam os indicadores de consumo de água, emissões para o ar e água. Para Makan *et al.* (2013) são utilizados como critérios ambientais o nível de possíveis impactos ambientais e a produção de águas residuais, enquanto que, Milutinović *et al.* (2014) considera os metais pesados (Pb) liberados na água, ainda, Milutinovic *et al.* (2016) considera a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e metais pesados (Pb, Cr) no solo como indicadores ambientais.

Herva e Roca (2013) pesquisam quatro opções de tratamento de resíduos sólidos por meio dos métodos de pegada ecológica e métodos multicritérios, o autor utiliza os indicadores de consumo de água, emissões para o ar e água.

A interpretação dos critérios identificados não é tarefa simples, ressalta-se que os conceitos dos critérios e a quantidade de indicadores variam de acordo com o artigo e seu respectivo contexto.

Em relação aos métodos multicritérios empregados, Pires *et al.* (2011) utiliza AHP e TOPSIS para classificação de 18 alternativas de melhoria da sustentabilidade da gestão de resíduos sólidos na região de Setúbal em Portugal, os critérios foram divididos em aspectos técnicos, ambientais, econômicos e sociais, ao todo o autor utilizou 14 indicadores, enquanto

que Khalili e Duecker (2013) utilizaram a metodologia ELECTRE III para selecionar o melhor projeto de tratamento de resíduos de levedura, utilizando como indicadores o custo para a empresa, massa de resíduos e o potencial para criação de emprego.

Outro fator relevante é como são selecionados os critérios, no presente estudo por se tratar de uma revisão de literatura faz-se a interpretação dos critérios em vários contextos, mas em aplicações em estudos de caso, os autores se fundamentam de diversas formas, como Topaloglu, *et al.*, (2018) que propõe avaliar e classificar sistemas alternativos de coleta de lixo em um ambiente urbano inteligente, para o qual os conceitos de design são baseados em tecnologias emergentes de informação e comunicação (TICs), os critérios de avaliação são determinados considerando as necessidades locais dos especialistas municipais. Em Khalili e Duecker (2013) os critérios são selecionados com base em auditorias, análise documental por uma equipe responsável pelo sistema de gestão ambiental sustentável de uma empresa, sendo compostas pela alta gerência, partes interessadas e representantes de departamentos da empresa (marketing, contabilidade e manufatura). Hlatka, *et al.*, (2018) propõe alternativas para aumentar a eficácia da coleta seletiva na cidade de Pyšely, e fundamenta seus critérios e alternativas através de a análise do estado sistema de gestão de resíduos com a classificação dos resíduos municipais e questionário com os moradores do município.

#### 4.3. ANÁLISE DE CONTEÚDO DO SEGUNDO CONJUNTO DE ARTIGOS SOBRE CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS E SUSTENTÁVEIS NA GESTÃO DE RESÍDUOS

A análise de conteúdo do segundo conjunto de artigos possibilitou, identificar 13 referências e suas respectivas características inovadoras e sustentáveis na gestão de resíduos sólidos desses artigos (Quadro 5).

Quadro 5: Características sustentáveis e inovadoras identificadas no segundo conjunto de artigos do Portfólio bibliográfico.

Referências	Características
Silva (2018)	Economia circular como uma nova forma de pensar sobre as atuais questões de planejamento e gestão urbana, criando oportunidades.
Dahlen et al. (2010)	Esquema de pagamentos de taxa de coleta de resíduos <i>Pay as you throw</i> baseado em peso e volume.

Continua

Quadro 5: Características sustentáveis e inovadoras identificadas no segundo conjunto de artigos do Portfólio bibliográfico.

Continuação

Diaz-Diaz et al. (2017)	Modelos de negócios de cidade inteligente, a partir de um benchmarking de oito serviços urbanos prestados na cidade de Santander, sendo o gerenciamento de resíduo destaque pela previsão de redução em 20% do custo na prestação de serviço anual.
Elia et al. (2015)	Propõe uma estrutura holística para projetar e gerenciar sistemas PAYT aplicados em serviços de Gestão de Resíduos Sólidos Municipais, através de soluções tecnológicas inteligentes.
Elia et al. (2018)	Esquemas de coleta dinâmica para Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos, por meio de tecnologia IoT.
Gelbmann; Hammerl (2015)	Modelo de negócio apropriado para o estabelecimento de novos sistemas (sustentáveis) de produtos e serviços (SPSS) para reutilização com empresas sociais de integração de trabalho orientadas ecologicamente (ECO-WISEs).
Manni; Runhaar (2014)	Esquema de pagamentos de taxa de coleta de resíduos <i>Pay as you throw</i> como incentivo para dedução de resíduos.
Misra et al. (2018)	Apresenta um sistema inteligente de coleta de resíduos baseado em uma lixeira <i>IoT</i> , que mede o nível de material nas lixeiras e a presença de gases e envia essas informações para um servidor em nuvem para armazenamento e processamento pela Internet.
Rada et al. (2013)	Otimização da coleta seletiva com a implementação de um sistema baseado em Sistemas de Informações Geográficas (Web-GIS).
Rebehy et al. (2017)	Inovação social proposta através de modelo de negócio sustentável e inclusivo, com uso intensivo de tecnologia da informação e logística.
Tseng; Bui (2017)	Gestão de negócios por meio da eco-inovação, e a simbiose industrial para alcançar o status de ganha-ganha nas redes de cadeias de suprimentos.
Wen et al. (2017)	Estuda a implementação e a avaliação de uma tecnologia de rede de Internet das Coisas (IoT) baseada em sensores para melhorar o gerenciamento do desperdício de comida de restaurante na cidade de Suzhou, China.
Yerraboina et al. (2018)	Protótipo de lixeira IoT denominada " <i>Smart Garbage Bin</i> ".

Fonte: Autoral.

Conforme observamos no Quadro 5 as tecnologias de informação IoT são as características de maior destaque devido quantidade de artigos que a abordam dentro do conjunto, sendo estudada por Diaz-Diaz et al. (2017), Elia et al. (2015, 2018), Misra et al. (2018), Wen et al. (2017) e Yerraboina et al. (2018).

Essas informações são relevantes, pois serão consideradas principalmente para fundamentar a organização de possíveis soluções tecnológicas, inovadoras e sustentáveis na gestão de resíduos municipais. Porém, a identificação das características dos estudos também é utilizadas para apresentar aos gestores e especialistas as iniciativas que estão sendo pesquisadas no mundo e contribuir para a construção de conhecimento de possíveis soluções para problemas reais no contexto desses profissionais.

Apesar de ser mais recorrente no portfólio sistemas envolvendo tecnologias, são observadas outras aplicações consideradas inovadoras, como por exemplo sistema de negócio produto serviços sustentáveis (Gelbmann; Hammerl, 2015) ou esquemas de pagamento/

incentivo de taxas de resíduos baseado no princípio do poluidor pagador denominado como *Pay as you throw* (Manni; Runhaar 2014). Essas inovações nos modelos de gestão, podem subsidiar a criatividade dos profissionais na elaboração dos seus modelos de gestão e gerenciamento locais, com custos reduzidos e possíveis soluções sustentáveis e inovadoras.

#### 4.4. SELEÇÃO DOS CRITÉRIOS – ENTREVISTAS COM ESPECIALISTAS

Os especialistas na gestão convencional de resíduos foram selecionados por meio de uma amostragem conveniente em que o pesquisador faz a escolha de profissionais técnicos capazes de entender o contexto e as dificuldades regionais do processo de coleta e destinação final dos resíduos. Essa forma amostragem possibilita ao pesquisador a selecionar profissionais capazes de contribuir com ricas em informações para o estudo (Ajayi et al, 20015; Merriam, 1998).

Assim, os especialistas podem, com base em suas percepções e conhecimento regional, podem fundamentar quais critérios são determinantes para seleção de tecnologias e tomada de decisões para aprimorar o processo de gerenciamento de resíduos.

Foram selecionados três especialistas, todos graduados em Engenharia Ambiental, sendo um Mestre em Engenharia Civil e docente na área de Gerenciamento de Resíduos sólidos e os outros dois mestres em Engenharia Ambiental, com experiência na gestão municipal de resíduos.

Na presença dos três especialistas, foram apresentados os objetivos do trabalho, as metodologias utilizadas e os resultados da revisão sistêmica da literatura, apresentando os conceitos de cada característica inovadora observada nos trabalhos do segundo portfólio (Quadro 4).

Após a apresentação, foram feitas perguntas aos entrevistados e, a partir das respostas, os diálogos foram realizados até que um consenso de opiniões fosse obtido. Como forma de orientação para o entrevistador, as seguintes perguntas foram solicitadas para iniciar os diálogos. (i) A primeira questão foi relacionada ao conhecimento dos entrevistados sobre as características inovadoras apresentadas e sua opinião e potencial de aplicação. (ii) Sistemas inteligentes de coleta de lixo foram solicitados como uma solução para o gerenciamento de resíduos sólidos. (iii) Se outras formas inovadoras de gestão também poderiam ser aplicadas como uma solução. (iv) E quais são as principais dificuldades na implementação de

tecnologias inteligentes e inovadoras na gestão municipal de resíduos e, possivelmente, quais impactos positivos e negativos afetariam a população e os municípios?

Sobre a primeira pergunta apenas um dos entrevistados disse já ter conhecimento sobre a simbiose industrial, mas todos concordaram e afirmaram um grande potencial de aplicação das formas inovadoras apresentadas, principalmente os sistemas inteligentes de coleta utilizando lixeiras IoT e pagamento de taxas conforme a geração/disposição de resíduos.

Para a segunda pergunta, sobre sistemas inteligentes de coleta de resíduos, a resposta foi unânime, como uma solução para o gerenciamento de resíduos. Os entrevistados ainda citaram a associação das tecnologias inteligentes com taxas de coleta ou isenção de impostos para estimular a coleta seletiva e a separação na fonte de geração dos resíduos. Um dos entrevistados disse que com aplicação de taxa por quantidade de resíduos coletados, diminuiria a geração dos resíduos, disse acreditar “*que o resultado seria maior doendo no bolso*”, ou seja, na aplicação de multas para quem não faz a seleção de materiais ou taxas maiores para quem gera mais resíduo.

Com relação à terceira pergunta sobre outras formas inovadoras de gestão como solução, um dos entrevistados falou sobre ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas, que através do mapeamento dos pontos de geração e quantidades de resíduos, seria possível mapear pontos de prioridade na coleta e melhores rotas. O entrevistado disse que “*muitas prefeituras não levam em consideração a quantidade de resíduos gerados, nem áreas de prioridade para traçar a rota*”, ainda citou um caso de uma prefeitura, em que um trabalhador no início da implementação da coleta de resíduos, definiu uma rota e ensinou o percurso aos que o sucederam e assim sucessivamente ao longo dos anos. O entrevistado afirmou que se houvesse um planejamento das rotas iria diminuir gastos com combustíveis e o número de deslocamento dos caminhões.

Para a quarta pergunta com relação às dificuldades para implementação de tecnologias inovadoras, as respostas formaram, principalmente em relação a dificuldade de viabilizá-la economicamente e da falta de conscientização dos usuários. No entanto foram também citados: o estímulo financeiro, a fiscalização, a falta de informação. E quanto aos impactos, possivelmente afetariam positivamente o aumento da conscientização e o interesse da população para o descarte correto e a geração ou realocação dos postos de trabalho. Já negativamente aumentaria resíduos em áreas irregulares e inapropriadas para o descarte, devido a pessoas mal-intencionadas.

Posteriormente a entrevista, foram apresentados os critérios identificados na literatura (primeiro conjunto de artigos), e solicitou-se que os especialistas assinalassem com “X” quais critérios seriam relevantes para a implantação e operação de sistemas de gestão de resíduos sustentáveis e inovadores. Cada especialista recebeu uma planilha para marcar os critérios (Quadro 6).

Quadro 6: Critérios de gestão de resíduos.

Aceitação pública		Qualidade dos resíduos coletados
Apoio político		Quantidade de resíduos coletados
Capacidade de Infraestrutura		Receita
Capacidade de Inovação		Recuperação de energia
Ciclo de Vida dos produtos		Recuperação de Matéria prima
Conscientização pública		Redução de recicláveis em aterros
Criação de novos empregos		Renda de recicláveis vendidos
Custo com equipamentos		Riscos/Impactos Ambientais
Custo com pessoal qualificado		Ruído
Custo de manutenção		Segurança e Higiene
Custo de transporte		Sustentabilidade do sistema
Custo investimento		Tamanho da população a ser atendida
Custo Operacional		Taxa de descarte
Desemprego		Taxa de reciclagem
Disponibilidade de pontos de coleta		Tempo de coleta
Eficiência do sistema		Tipo de resíduo a ser coletado
Emissão atmosféricas		Trafego de veículos
Estética		Tratamento de resíduos
Odor		Viabilidade operacional

Fonte: Autoral.

Apenas os critérios assinalados respectivamente pelos três especialistas são selecionados como aqueles relevantes para implantação e operação de sistemas tecnológicos de gestão de resíduos inovadores e sustentáveis.

Devido a grande quantidade de critérios possíveis, e considerando a viabilidade e aplicabilidade prática, somente foram selecionados os critérios entendidos como sendo fundamentais por ambos os profissionais.

Os onze critérios selecionados, observados na literatura e considerados relevantes por ambos os especialistas, foram divididos pelo autor em três categorias (ambiental, econômico e social), conforme contextualização da análise de conteúdo do primeiro portfólio bibliográfico.

Na tabela 8 constam os critérios selecionados pelos especialistas e a classificação realizada pelo autor.

Tabela 8: Indicadores observados na literatura e selecionados pelos especialistas.

<b>Categoria</b>	<b>Critérios</b>
Social	C1 - Aceitação pública
	C2 – Conscientização
	C3 - Segurança e higiene
Ambiental	C4 - Quantidade de resíduos coletados
	C5 - Riscos e impactos ambientais
	C6 - Redução de recicláveis em aterros
Econômico	C7 - Custo Equipamento
	C8 – Custo de Investimento
	C9 – Custo Operacional
	C10 – Renda de Recicláveis
	C11 – Eficiência do Sistema

Fonte: autoral.

Por vezes um critério pode possuir conceito diferente na aplicação e estudos diferentes, por se tratar de contextos distintos. Dessa forma, optou-se pela a organização dos critérios em categorias, através das percepções do consultor, que durante o processo da análise de conteúdo observou as características dos conceitos na aplicação de cada pesquisa analisada.

Ressalta-se que as classificações: Ambiental, Econômica e Social, possuem pesos iguais para este trabalho, ou seja, a soma dos critérios ambientais tem o mesmo peso da soma dos critérios sociais, que por sua vez é igual à soma dos critérios econômicos.

#### 4.5. APLICAÇÃO DO MODELO

Esta seção se ocupará em apresentar a aplicação do modelo de avaliação, para tanto foram aplicados dois estudos de casos, levando em consideração a singularidade de cada contexto.

#### 4.5.1. Estudo de caso I

O primeiro município no qual foi aplicado o modelo, está localizado no extremo oeste de Santa Catarina, é uma cidade com aproximadamente 20 mil habitantes. O primeiro contato com o decisor ocorreu via telefone e para agendamento de uma entrevista.

O decisor nesse contexto é o Gerente de Serviços Urbanos e Meio Ambientes, que através da entrevista informou que não possuem estudos de áreas de coleta e rotas para os caminhões.

Informou ainda que a identificação dos resíduos é apenas visual, que não possuem sistema para identificação dos diferentes tipos de resíduos, e que é o coletor que por observação faz a coleta do material tanto reciclável como rejeito e os destina conforme as suas percepções.

Também a prefeitura incentiva ações de educação ambiental nas escolas e instituições, bem como incentiva a coleta de resíduos específicos, como por exemplo baterias e resíduos eletrônicos, em datas previamente estabelecidas para coleta seletiva adequada. Essas ações são consideradas formas de diminuir a geração de resíduos sólidos municipais e aumentar a segregação e destinação adequada.

O entrevistado ainda informou que o município não dispõe de aterro e maquinário próprio para a coleta de lixo, e que tal serviço é de responsabilidade de uma empresa terceirizada e a administração pública paga um valor fixo para a coleta de resíduos recicláveis e um valor variável de acordo com a quantidade de rejeitos, ou seja toda a coleta e destinação é terceirizada, e o processo de contratação, ocorre por meio de licitação.

Assim sendo, diminuindo a quantidade de matéria orgânica e recicláveis misturados com o rejeito diminui o valor da taxa variável a ser paga, sendo assim fundamental a colaboração dos municípios na segregação dos resíduos na fonte geradora.

Após entrevista e análise das informações, identificou-se como problemática a dificuldade de incentivar e obter resultados de segregação dos resíduos.

Considerando o problema identificado, os resultados observados no segundo conjunto de artigos do portfólio (quadro 4), e o contexto apresentado durante a entrevista, construíram-se, pelo consultor, 7 possíveis cenários para aplicação da metodologia multicritério com o intuito de selecionar um possível cenário ideal. Os referidos cenários estão descritos na Tabela 9.



Tabela 9: Descrição dos possíveis cenários para o município 1.

Cenário	Descrição dos cenários de coleta de recicláveis
A1	Cenário atual sem alteração, coleta porta-porta sem sistema de identificação dos resíduos recicláveis, e sem incentivo financeiro ou multa.
A2	Coleta porta-porta, com utilização de sistemas de identificação por embalagens/sacolas coloridas sem utilização de tecnologia ou outro incentivo financeiro.
A3	Coleta porta-porta, com utilização de sistemas de identificação por embalagens/sacolas coloridas sem utilização de tecnologia com aplicação de multas para quem não faz a separação.
A4	Coleta porta-porta com uso de ferramentas SIG, classificação das rotas e locais de prioridade, fazer a identificação dos materiais recicláveis e aplicar multas para quem não faz a separação.
A5	Pontos de coleta de resíduos recicláveis no centro municipal e centro dos bairros, em pontos estratégicos sem utilização de tecnologia ou incentivo financeiro ou multa.
A6	Pontos de coleta para resíduos recicláveis utilizando, lixeiras IoT no centro do município, no centro dos bairros em locais estratégicos sem desconto no IPTU ou outro incentivo financeiro similar.
A7	Pontos de coleta para resíduos recicláveis utilizando, lixeiras IoT no centro do município, no centro dos bairros em locais estratégicos com desconto no IPTU ou outro incentivo financeiro similar.

Fonte: Autoral.

Para avaliar esses cenários conforme os critérios, primeiramente precisa-se definir os pesos dos critérios. Nessa aplicação os pesos foram definidos pelos especialistas, seguindo Anexo I – Orientações para a priorização dos critérios.

No quadro 7 observa-se as respostas do primeiro especialista, que é Engenheiro Ambiental, mestrando em Engenharia Ambiental com experiência secretaria municipal de gestão de resíduos sólidos urbanos.

Quadro 7: Respostas comparação dos critérios pelo primeiro especialista.

Critérios Sociais																		
Aceitação Pública	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Conscientização
Aceitação Pública	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Segurança e Higiene
Conscientização	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Segurança e Higiene
Critérios Ambientais																		
Quantidade de Resíduos coletados	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Riscos e impactos ambientais
Quantidade de Resíduos coletados	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Redução de recicláveis em aterros

Continua

Quadro 7: Respostas comparação dos critérios pelo primeiro especialista.

Continuação																		
Riscos e impactos ambientais	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Redução de recicláveis em aterros
Critérios Econômicos																		
Custo Equipamentos	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo de Investimento
Custo Equipamentos	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo Operacional
Custo Equipamentos	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Renda de recicláveis
Custo Equipamentos	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Eficiência do sistema
Custo de Investimento	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo Operacional
Custo de Investimento	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Renda de recicláveis
Custo de Investimento	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Eficiência do sistema
Custo Operacional	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Renda de recicláveis
Custo Operacional	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Eficiência do sistema
Renda de recicláveis	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Eficiência do sistema

Fonte: Autoral.

No quadro 8 constam as respostas do segundo especialista, que é Engenheiro Ambiental, mestrando em Engenharia Ambiental e Responsável técnico pela gestão de resíduos de um município na região oeste do Paraná.

Quadro 8: Respostas comparação dos critérios pelo segundo especialista.

Critérios Sociais																		
Aceitação Pública	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Conscientização
Aceitação Pública	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Segurança e Higiene
Conscientização	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Segurança e Higiene
Critérios Ambientais																		
Quantidade de Resíduos coletados	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Riscos e impactos ambientais
Quantidade de Resíduos coletados	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Redução de recicláveis em aterros
Riscos e impactos ambientais	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Redução de recicláveis em aterros
Critérios Econômicos																		
Custo Equipamentos	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo de Investimento
Custo Equipamentos	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo Operacional
Custo Equipamentos	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Renda de recicláveis
Custo Equipamentos	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Eficiência do sistema
Custo de Investimento	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo Operacional
Custo de Investimento	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Renda de recicláveis

Continua

Quadro 8: Respostas comparação dos critérios pelo segundo especialista.

Continuação																		
Custo de Investimento	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Eficiência do sistema
Custo Operacional	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Renda de recicláveis
Custo Operacional	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Eficiência do sistema
Renda de recicláveis	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Eficiência do sistema

Fonte: Autoral.

No quadro 9 observa-se as respostas do terceiro especialista, que é Engenheiro Ambiental, mestre em engenharia civil e professor universitário.

Quadro 9: Respostas comparação dos critérios pelo terceiro especialista.

Critérios Sociais																		
Aceitação Pública	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Conscientização
Aceitação Pública	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Segurança e Higiene
Conscientização	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Segurança e Higiene
Critérios Ambientais																		
Quantidade de Resíduos coletados	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Riscos e impactos ambientais
Quantidade de Resíduos coletados	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Redução de recicláveis em aterros
Riscos e impactos ambientais	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Redução de recicláveis em aterros
Critérios Econômicos																		
Custo Equipamentos	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo de Investimento
Custo Equipamentos	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo Operacional
Custo Equipamentos	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Renda de recicláveis
Custo Equipamentos	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Eficiência do sistema
Custo de Investimento	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo Operacional
Custo de Investimento	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Renda de recicláveis
Custo de Investimento	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Eficiência do sistema
Custo Operacional	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Renda de recicláveis
Custo Operacional	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Eficiência do sistema
Renda de recicláveis	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Eficiência do sistema

Fonte: Autoral.

Na Tabela 10 são apresentados os resultados dos pesos de cada critério após o julgamento dos especialistas pelo método AHP.

Tabela 10: Resultado para o peso dos critérios.

	Critério	Pesos			Média
		Espec. 1	Espec. 2	Espec. 3	
Social	C1	0,106	0,283	0,106	0,165
	C2	0,633	0,643	0,633	0,637
	C3	0,260	0,074	0,260	0,198
Ambiental	C4	0,455	0,748	0,633	0,612
	C5	0,091	0,071	0,106	0,089
	C6	0,455	0,180	0,260	0,298
Econômico	C7	0,053	0,370	0,056	0,160
	C8	0,057	0,370	0,084	0,171
	C9	0,362	0,151	0,216	0,243
	C10	0,143	0,073	0,154	0,124
	C11	0,385	0,035	0,490	0,303

Fonte: autoral.

Com as respostas dos especialistas, faz-se necessário analisar o índice de razão de consistência para as respostas de cada especialista Tabela 11.

Tabela 11: Análise de Consistência pelos especialistas.

Especialista 1			
	Social	Ambiental	Econômico
MH(s)	3,02	3,00	5,01
N	3,00	3,00	5,00
ICH	0,01	0,00	0,00
HRI	0,55	0,55	1,06
RC	0,02	0,00	0,00
RCMáx.	0,05	0,05	0,10
Especialista 2			
	Social	Ambiental	Econômico
MH(s)	3,02	3,01	5,11
N	3,00	3,00	5,00
ICH	0,02	0,00	0,03
HRI	0,55	0,55	1,06
RC	0,03	0,01	0,03
RCMáx.	0,05	0,05	0,10
Especialista 3			
	Social	Ambiental	Econômico
MH(s)	3,02	3,02	5,35
N	3,00	3,00	5,00

Continua

Tabela 11: Análise de Consistência pelos especialistas.

	Continuação		
ICH	0,01	0,01	0,11
HRI	0,55	0,55	1,06
RC	0,02	0,02	0,10
RCMáx.	0,05	0,05	0,10

Fonte: Autoral.

Como os valores para CR são inferiores ou iguais a 0,1 podemos concluir que os valores das prioridades relativas estão consistentes.

Com os pesos dos critérios definidos é aplicada a metodologia FuzzyTopsis, que permitem então avaliar cada cenário em relação aos critérios.

É apresentado ao decisor a tabela 3 e a tabela 9, para aplicação da metodologia FuzzyTopsis, os especialistas preencheram uma planilha com variáveis linguísticas (Tabela 3), relacionando os cenários (tabela 9). As respostas constam nas Tabelas 12, 13 e 14, que mostram os julgamentos linguísticos referentes ao desempenho das alternativas, conforme cada decisor.

Tabela 12: Matriz de avaliação linguística do primeiro especialista sobre o desempenho das alternativas

Alternativas	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
A1	A	B	B	A	A	B	B	B	B	B	B
A2	RA	RB	RB	RA	RA	B	B	B	B	B	B
A3	RB	RB	RB	M	M	M	B	B	B	B	RB
A4	RB	M	M	RB	M	M	RB	RB	RB	M	RA
A5	M	M	M	RB	M	RA	M	M	M	M	RA
A6	RB	M	RA	B	RB	A	RA	RA	M	A	A
A7	M	M	RA	B	RB	A	RA	RA	M	A	A

Fonte: Autoral.

Tabela 13: Matriz de avaliação linguística do segundo especialista sobre o desempenho das alternativas

Alternativas	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
A1	M	RB	B	RB	RA	B	B	B	RB	RB	RB
A2	M	M	RB	M	M	RB	RB	RB	RB	RB	M

Continua

Tabela 13: Matriz de avaliação linguística do segundo especialista sobre o desempenho das alternativas

Continuação											
<b>A3</b>	B	RA	M	M	RB	RB	RB	RB	M	M	M
<b>A4</b>	RB	A	A	RA	B	M	M	RA	M	RA	RA
<b>A5</b>	M	RA	RA	RA	RB	RA	RA	RA	RA	RA	RA
<b>A6</b>	RA	RA	RA	A	B	A	A	A	A	A	A
<b>A6</b>	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A

Fonte: Autoral.

Tabela 14: Matriz de avaliação linguística do terceiro especialista sobre o desempenho das alternativas.

<b>Alternativas</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>	<b>C6</b>	<b>C7</b>	<b>C8</b>	<b>C8</b>	<b>C10</b>	<b>C11</b>
<b>A1</b>	A	B	B	A	A	B	M	M	RA	B	RB
<b>A2</b>	M	RB	RB	A	RA	RB	RA	RA	A	RB	RB
<b>A3</b>	RB	RA	M	A	RB	RA	RA	RA	A	RA	RA
<b>A4</b>	RB	RA	M	A	RB	RA	RA	RA	A	RA	RA
<b>A5</b>	B	M	RA	B	M	M	M	M	RB	M	M
<b>A6</b>	B	M	RA	M	M	M	M	A	M	RA	M
<b>A7</b>	M	RA	A	RA	B	RA	M	A	M	A	RA

Fonte: Autoral.

Os valores apresentados nas tabelas são convertidos em números fuzzy, e os resultados normalizados são multiplicados pelo respectivo peso de cada critério. As soluções ideais positivas e negativas, são calculadas de acordo com as equações 4 e 5. Utilizando o método, de acordo com as equações 6, 7 e 8, calculou-se as distâncias entre os valores e as soluções ideais positiva (SIPD) e a negativa (SIND). Através da utilização da equação 9, pode-se calcular o coeficiente de aproximação (CCi) das alternativas. Na Tabela 14 constam os *rankings* das alternativas e seu respectivo desempenho global (DG) de acordo com o julgamento de cada especialista. Pode observar-se ainda na Tabela 15 um ranking final que é resultado de uma média ponderada dos resultados.

Tabela 15: Resultado com o ranking das alternativas.

Alternativas	Ranking	DG	Ranking	DG	Ranking	DG	Ranking	DG
	Expert 1		Expert 2		Expert 3		Final	
A1	7	0,509	7	0,513	7	0,476	7	0,488
A2	5	0,526	6	0,528	6	0,478	6	0,494
A3	2	0,531	4	0,534	3	0,522	4	0,526
A4	1	0,533	1	0,552	3	0,522	2	0,532
A5	4	0,527	5	0,534	2	0,526	3	0,528
A6	6	0,525	3	0,534	5	0,514	5	0,521
A7	3	0,528	2	0,552	1	0,548	1	0,549

Fonte: Autoral.

Conforme o preenchimento e percepção dos especialistas, pode-se observar que a alternativa A7 tem o maior desempenho global final, o que significa que é a coleta de resíduos sólidos recicláveis que mais se aproxima da solução ideal positiva e também é o mais distante da solução ideal negativa.

Assim sendo, a implantação de pontos de coleta para resíduos recicláveis utilizando, lixeiras IoT no centro do município, no centro dos bairros em locais estratégicos com desconto no IPTU ou outro incentivo financeiro similar.

Os especialistas, quando da entrevista, informaram não ter conhecimento sobre as características tecnológicas da gestão de resíduos apresentadas por Dahlen et al. (2010), Diaz-Diaz et al. (2017), Elia et al. (2015) (2018), Manni & Runhaar (2014), Misra et al. (2018), Rebehy et al. (2017), Rada et al. (2013), Wen et al. (2017), Yerraboina et al. (2018), porém todos concordaram sobre o potencial de aplicação como forma de solucionar e/ou aprimorar a gestão convencional.

#### 4.5.2 Estudo de caso II

Fez-se outra aplicação da metodologia para uma cidade no sudoeste do estado do Paraná. A cidade possui cerca de 100 mil habitantes e possui aterro sanitário e estrutura de coleta própria.

Foi realizada a entrevista com o gestor municipal, na secretaria de meio ambiente onde foram realizadas as perguntas conforme o quadro 1.

Iniciou-se perguntando, se o município atualmente possui sistema de coleta de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)? Próprio ou terceirizado? A resposta foi, que sim, possui

sistema de coleta de RSU em 100% a zona urbana, e aproximadamente 98% da zona rural. Para coleta dos resíduos domiciliares, os serviços de coleta são de frota própria, coleta convencional (coleta de resíduos orgânicos e rejeitos). O município conta com 8 veículos coletores tipo compactadores, sendo que um dos caminhões fica em estado reserva, para suprir a eventual manutenção de outro. Os motoristas e garis são concursados e terceirizados, e a manutenção das máquinas é própria e terceirizada, através de licitação.

Com relação ao processo de coleta, inicialmente dois garis amontoadores retiram as sacolas de resíduos das lixeiras e depositam em pontos específicos nas calçadas, onde ficam por um período médio de 40 minutos, posteriormente os caminhões passam coletando esses resíduos, por meio de dois a três garis coletores. Existe coleta de resíduos em pontos estratégicos na área central e de grande circulação de pessoas, por meio de contentores plásticos, sendo uma para matéria orgânica/rejeito e outro para os recicláveis.

Em relação a definição de rotas ou áreas com prioridade para coleta, a mesma é feita empiricamente, e passado ao longo dos anos pelos motoristas e pela administração. A rota dos caminhões não foi definida por estudo. O entrevistado achou interessante à rota de caminhões, roteiro otimizado de coletas, tanto para coleta convencional como seletiva.

Os veículos atualmente estão sem rastreador, por não estarem funcionando. Conforme o entrevistador, seria interessante a utilização de rastreadores nos caminhões para controle e evidenciando as rotas, traçados e horários que os caminhões trafegam, podendo confrontar tais informações com possíveis reclamações dos munícipes.

Também poderia organizar um banco de dados, de forma a gerenciar os dados e saber a quantidade de resíduos coletados em áreas específicas do município através de uma plataforma digital em que fosse possível interação entre munícipes e a administração pública.

Em relação a identificação dos tipos de RSU coletados, diferenciando recicláveis e não recicláveis, a mesma ocorre pelos dias de coleta e o acondicionamento em sacos específicos. A coleta seletiva é realizada por uma cooperativa de catadores. O município e fornece de forma gratuita sacos amarelos para cada domicílio pertencente da zona urbana. Faz-se o registro de cada saco amarelo para cuidados de cada munícipe que receber o saco amarelo.

O município não permite a coleta de resíduos por meio de catadores informais (carroceiros). A coleta seletiva é realizada por meio uma cooperativa, que recebe do município auxílio com barracão, suporte técnico, veículos, entre outros.



Com relação ao procedimento operacional é recomendado para que os garis façam uma verificação visual (saco amarelo) e posteriormente com relação ao peso, para identificar o tipo de resíduos.

Para a pergunta, como é realizada a segregação dos RSU coletados? (Cooperativa, empresa terceira, catadores, entre outros). Os resíduos domiciliares recicláveis são acondicionados em sacos amarelos e destinados até a cooperativa que realiza a segregação desses materiais. Podem ser acondicionados em sacos plásticos e papelão; Os rejeitos e resíduos orgânicos são destinados até o aterro sanitário municipal.

Para as duas últimas perguntas: Quais ações são realizadas com objetivo de diminuir a geração de RSU no município? e Quais ações são realizadas com objetivo de aumentar a segregação dos RSU na fonte e conseqüentemente diminuir a quantidade de resíduos destinados aos aterros? O entrevistado afirmou que a educação ambiental é realizada por meio de atividades em escolas, universidades e interessados. São realizados treinamentos para minimizar a geração de resíduos e ensinar a forma adequada de acondicionamento, segregação e destinação dos resíduos urbanos.

Outra ferramenta que auxilia nos processos é a exigência do Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólido pelos empreendimentos, no conteúdo do plano existe um item obrigatório, onde o profissional responsável técnico deve orientar e definir estratégias para reduzir a geração dos resíduos no estabelecimento. Tal medida apesar de ser uma medida administrativa, impacta positivamente no gerenciamento de resíduos, pois, por exemplo, evita a destinação de resíduos provenientes de estabelecimentos comerciais de saúde e linhas produtivas de pequenas indústrias, sejam destinadas para o aterro sanitário municipal. O PGRS é uma das ferramentas mais adequadas para reduzir a quantidade de resíduos destinados ao aterro, associado a possíveis punições administrativas e multa em casos de descumprimento no disposto nesses documentos, tal ferramenta é obrigatória nos processos de liberação de alvarás e licenciamentos.

Com base na entrevista realizada com o gestor, fez-se a proposição de 7 cenários, considerados possíveis soluções para a problemática da rastreabilidade e gestão dos resíduos urbanos municipais. Na tabela 16 constam as características de cada cenário elaborados pelo consultor, como possíveis soluções para o gerenciamento de resíduos municipais.

Tabela 16: Descrição dos possíveis cenários para o estudo de caso II.

A1	Cenário atual, coleta dos resíduos porta a porta, com segregação e identificação dos resíduos recicláveis e rejeitos.
A2	Cenário atual, auxiliado com um aplicativo para tirar dúvidas, informar e interagir com a população local.
A3	Implementar estudo das áreas e rotas dos veículos para aperfeiçoar os pontos de coleta e rota de tráfego dos veículos.
A4	Implementar sistema de monitoramento dos veículos para verificar a rastreabilidade dos caminhões.
A5	Implementar sistemas de monitoramento dos veículos para que em tempo real possa ser verificado a rastreabilidade dos veículos.
A6	Implementar sistema de monitoramento nos veículos e em lixeiras com localizações estratégicas, para aperfeiçoar as rotas e promover a rastreabilidade dos veículos.
A7	Implementar sistemas de monitoramento dos veículos e lixeiras em tempo real, através de lixeiras IOT, para rastrear e dar transparência sobre as rotas traçadas e com relação ao tipo de material coletado, em tempo real.

Fonte: autoral.

Diferentemente da aplicação do modelo no município 1, fez-se a atribuição de pesos para os critérios através das preferências do decisor, para isso segue-se o roteiro de entrevista conforme o Anexo I.

No quadro 10 constam as respostas de comparação par a par dos critérios, para aplicação do método AHP.

Quadro 10: Respostas comparação dos critérios pelo decisor.

Critérios Sociais																		
Aceitação Pública	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Conscientização
Aceitação Pública	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Segurança e Higiene
Conscientização	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Segurança e Higiene
Critérios Ambientais																		
Quantidade de Resíduos coletados	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Riscos e impactos ambientais
Quantidade de Resíduos coletados	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Redução de recicláveis em aterros
Riscos e impactos ambientais	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Redução de recicláveis em aterros
Critérios Econômicos																		
Custo Equipamentos	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo de Investimento
Custo Equipamentos	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo Operacional
Custo Equipamentos	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Renda de recicláveis
Custo Equipamentos	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Eficiência do sistema
Custo de Investimento	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo Operacional

Continua

Quadro 10: Respostas comparação dos critérios pelo decisor.

																			Continuação
Custo de Investimento	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Renda de recicláveis	
Custo de Investimento	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Eficiência do sistema	
Custo Operacional	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Renda de recicláveis	
Custo Operacional	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Eficiência do sistema	
Renda de recicláveis	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Eficiência do sistema	

Fonte: Autoral.

Através da comparação dos critérios e aplicação do método AHP, resulta-se nos pesos para cada critério, conforme a tabela 17.

Tabela 17: Resultado das atribuições de pesos pelo decisor.

<b>Categoria</b>	<b>Crítérios</b>	<b>Pesos</b>
Social	C1 – Aceitação pública	0,064803
	C2 – Conscientização	0,197257
	C3 – Segurança e higiene	0,73794
Ambiental	C4 – Quantidade de resíduos coletados	0,067983
	C5 – Riscos e impactos ambientais	0,760083
	C6 – Redução de recicláveis em aterros	0,171933
Econômico	C7 – Custo Equipamento	0,076727
	C8 – Custo de Investimento	0,226829
	C9 – Custo Operacional	0,151206
	C10 – Renda de Recicláveis	0,029537
	C11 – Eficiência do Sistema	0,515702

Fonte: autoral.

Para avaliar Razão de Consistência (RC), se o RC é inferior ou igual a 0,1 os julgamentos são considerados confiáveis. Na tabela a seguir podemos verificar o calculo de RC.

Tabela 18: Análise de Consistência pelo decisor.

<b>Índice de consistência</b>					
<b>Social</b>		<b>Ambiental</b>		<b>Econômico</b>	
MH(s)	3,05	MH(s)	3,05	MH(s)	5,37
N	3,00	N	3,00	N	5,00
ICH	0,04	ICH	0,03	ICH	0,11
HRI	0,55	HRI	0,55	HRI	1,06
RC	0,07	RC	0,06	RC	0,10
RCMáx.	0,05	RCMáx.	0,05	RCMáx.	0,10

Fonte: autoral

Como o CR é inferior ou igual a 0,1 podemos concluir que os valores das prioridades relativas estão consistentes. A metodologia FuzzyTopsis consiste no ranqueamento das alternativas, levando em consideração os critérios selecionados pelos especialistas e a atribuição dos pesos realizada pelo gestor durante a entrevista. Fez-se a aplicação da metodologia FuzzyTopsis com as considerações técnicas de profissional especialista em meio ambiente.

Com os pesos dos critérios definidos é aplicada a metodologia FuzzyTopsis, que permitem então avaliar cada cenário em relação aos critérios. É apresentado ao decisor a tabela 3 e a tabela 9, para aplicação da metodologia, o decisor preenche uma planilha com variáveis linguísticas (Tabela 3), relacionando os cenários (tabela 16). As respostas do decisor constam na tabela 19, o preenchimento da planilha pelo decisor com os valores linguísticos para cada cenário/alternativa, considerando o respectivo critério.

Tabela 19: Matriz de avaliação linguística do decisor sobre o desempenho das alternativas.

ALTERNATIVAS	CRITÉRIOS										
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
A1	RA	B	B	M	A	B	B	B	B	B	B
A2	RB	RB	B	RA	M	RB	RB	RB	B	B	RB
A3	M	B	RB	RA	RB	RB	RB	RB	B	B	M
A4	RA	B	RA	RA	M	RB	M	M	M	B	M
A5	RA	RA	RA	RA	RB	M	RA	RA	M	RB	RA
A6	RA	RA	RA	RA	RB	M	RA	RA	RA	RB	RA
A7	RA	RA	RA	RA	RB	RA	A	A	A	RB	A

Fonte: Autoral.

Conforme o preenchimento com valores linguísticos, pode-se organizar os valores de normalização e os coeficientes de distância de cada alternativa. Através dos coeficientes de distância faz-se o ranqueamento das alternativas conforme Tabela 20.

Tabela 20: Resultado com o ranking das alternativas.

Alternativas	DG	Ranking
Cenário 1	0,51	4
Cenário 2	0,51	4
Cenário 3	0,51	4
Cenário 4	0,50	7
Cenário 5	0,54	1
Cenário 6	0,53	2
Cenário 7	0,53	2

Fonte: Autoral.

Conforme o preenchimento e percepção do decisor, pode-se observar que a alternativa A5 tem o maior desempenho global final, o que significa que é o cenário de coleta de resíduos sólidos que mais se aproxima da solução ideal positiva e também é o mais distante da solução ideal negativa.

Assim sendo, implementar sistemas de monitoramento dos veículos para que em tempo real possa ser verificado a rastreabilidade dos veículos. Entretanto vale destacar que houve uma relação muito próxima entre os resultados de desempenho global, que estatisticamente não apresentam diferenças significativas.

O gestor entrevistado se mostrou interessado em características inovadoras, tecnológicas para aprimorar a eficiência do sistema, principalmente no controle de custos e perdas, e na rastreabilidade do sistema, tal preocupação vem em encontro as características identificadas na revisão sistêmica de literatura conforme Dahlen et al. (2010), Diaz-Diaz et al. (2017), Elia et al. (2015) (2018), Manni & Runhaar (2014), Misra et al. (2018), Rebehy et al. (2017), Rada et al. (2013), Wen et al. (2017), Yerraboina et al. (2018), dessa forma temos evidencia do potencial de aplicação dessas características como formas de solucionar ou aprimorar o sistema convencional de resíduos sólidos urbanos.

## **5. LIÇÕES APRENDIDAS E CONTRIBUIÇÕES**

Uma das lições aprendidas com esse trabalho, e certamente a mais relevante, é o entendimento da complexidade e dinâmica da avaliação em diferentes contextos. No âmbito da legislação federal, as leis ambientais impõem regulamentações estaduais e municipais, que por sua vez, leva em consideração, as particularidades distintas conforme o órgão ambiental fiscalizador. Diante disso, o consultor e os gestores municipais dificilmente conseguem replicar modelos de gestão de resíduos. Entretanto, o trabalho de pesquisar modelos de gestão de resíduos sólidos urbanos considerados inovadores e eficientes, pode servir de *benchmark* para aprimorar a gestão de resíduos sólidos convencional.

Outro ponto relevante são os critérios observados na literatura, conforme a revisão sistêmica de literatura realizada, Arıkan *et al.*, (2017), Banar *et al.*, (2010), Coban *et al.*, (2018), Deus *et al.*, (2016), Herva & Roca (2013), Hlatka *et al.*, (2018), Huang, *et al.*, (2011), Jovanovic et al. (2016), Khalili & Duecker (2013), Lolli et al. (2016), Makan et al. (2013), Milutinović et al. (2014) (2016), Mir et al. (2016), Pires *et al.*, (2011), Rigamonti *et al.*,

(2016), Rodrigues et al. (2018), Sarra, *et al.*, (2017), Simões *et al.*, (2012), Stefanović et al. (2016), Topaloglu *et al.*, (2018), Vucijak & Silajd (2015), apresentaram diversos critérios, com significados e conceitos distintos, dessa forma é evidenciado a relação entre critério e o contexto de avaliação para aplicação das metodologias multicritério. Em outras palavras, um mesmo critério pode representar um benefício em uma determinada situação, já em outro contexto, esse mesmo critério pode representar um custo.

Nesse sentido Marcis 2017, é um exemplo de pesquisa em que os critérios e as opiniões dos especialistas são fatores limitantes da pesquisa, uma vez que a sustentabilidade por si só, pode ser considerada um critério, como também pode envolver critérios para avaliação de sustentabilidade.

Sobre as características sustentáveis e inovadoras, Silva (2018), Dahlen et al. (2010), Diaz-Diaz et al. (2017), Elia et al. (2015) (2018), Gelbmann; Hammerl (2015), Manni; Runhaar (2014), Misra et al. (2018), Rada et al. (2013), Rebehy et al. (2017), Tseng; Bui (2017), Wen et al. (2017) e Yerraboina et al. (2018), apresentam em seus trabalhos estudos considerando características de uso de tecnologias e ideias disruptivas de gestão de resíduos, consideradas com potencial promissor. Sendo assim o acompanhamento constante das publicações e do avanço tecnológico proporciona reconhecer os estudos de pesquisadores e as práticas que podem ser utilizadas como *benchmark* para aprimorar a gestão convencional de resíduos municipais.

Com relação às metodologias, a revisão sistêmica de literatura apresentou limitações, principalmente com relação a quantidade de artigos descartados nas primeiras etapas do trabalho, porém para a finalidade desse trabalho a metodologia atendeu ao proposito de selecionar critérios e características inovadoras e eficientes na gestão de resíduos sólidos urbanos.

A associação da revisão sistêmica de literatura com métodos multicritérios proporciona uma maneira mais racional e lógica para seleção de critérios necessários para aplicar as metodologias, certamente que podem ser realizados novos trabalhos com combinação de outras metodologias de revisão sistêmica de literatura associada a outros métodos multicritérios.

A combinação das metodologias utilizadas demonstra um grande potencial de aplicação prática, por se tratar de métodos que possibilitam aos gestores um ranking de preferencia, tornando a seleção de projetos, obras e ações referentes às alternativas/cenários a problemática gestão de resíduos sólidos, um processo mais racional e lógico. Nesse sentido as

prefeituras, consultores e órgãos fiscalizadores, podem se valer dessas metodologias para apresentar a partes interessadas justificativas de tomadas de ações, evidenciando que a tomada de decisão não é arbitrária.

Sobre as entrevistas com especialistas e decisores, constata-se que a formação/condição técnica e/ou cargo/função do entrevistado pode influenciar em suas respostas, tendo em vista que gestores que não possuem conhecimento técnico no assunto podem se valer de respostas apenas empíricas e do senso comum, em contrapartida profissional técnico pode ter dificuldades para interpretar questões subjetivas e relevantes para os usuários do sistema de gestão. Dessa forma, uma maneira para minimizar essa influência nas respostas, é realizar a aplicação da metodologia multicritério em grupos de profissionais de diferentes áreas, tanto provido de conhecimento técnica, como leigos e ainda usuários do sistema de gestão. Khalili & Duecker (2013) utilizam para aplicação da metodologia multicritério e seleção do melhor projeto de tratamento de resíduos a opinião de um grupo de profissionais de áreas distintas de uma indústria.

## **6. CONCLUSÃO**

O presente trabalho cumpre os objetivos de estruturar um modelo de seleção de tecnologias de gestão de resíduos sólidos municipais. Neste trabalho são identificadas evidências de que as pesquisas que estão sendo desenvolvidas, conforme a revisão sistêmica de literatura e análise de conteúdo segue uma tendência trabalhos acadêmicos sobre inovações tecnológicas na gestão de resíduos sólidos.

A revisão sistêmica de literatura, proporcionou o reconhecimento de tendências de pesquisas que estão sendo desenvolvidas, no âmbito da gestão de resíduos sólidos, e evidenciou a quantidade crescente de estudos sobre tecnologias inovadoras, pode ser citado a título de exemplo, internet das coisas, geoprocessamento de informações, sistemas de rastreamento de informações, bancos de dados em nuvem, sistemas de pagamento com uso Qcod e Rfid, lixeiras automatizadas, entre outras tecnologias que associadas entre si e associadas a modelos de gestão de resíduos como por exemplo sistemas de pagamento pela quantidade de resíduo gerada ou descartada, apresentam um potencial de aprimorar a ineficiência dos sistemas convencionais de gestão de resíduos sólidos.

A revisão sistêmica de literatura também proporcionou uma evidenciação da grande quantidade de métodos utilizados para avaliação dos sistemas de gestão de resíduos, assim um

modelo de seleção de tecnologias capaz de auxiliar no gerenciamento de resíduos urbanos, deve considerar as características de cada contexto, bem como a subjetividade de cada decisor na seleção de suas preferências.

Nas entrevistas realizadas com os decisões e especialistas, pode se observar que apesar de possuírem contextos distintos, principalmente na forma de gestão da coleta de resíduos, ambos os especialistas apontaram para problemas similares, como a falta de informação, sensibilização e educação ambiental, bem como, o descarte inadequado dos resíduos.

O modelo apresentado nesse trabalho mostra-se eficiente para ranquear a tecnologias e como possíveis soluções para aprimorar os sistemas convencionais, bem como, fundamentar a decisões dos gestores.

Apesar do estudo de Caso II ter obtido resultados muito próximos, os métodos AHP e fuzzy-Topsis, proporcionaram um processo lógico para a seleção de tecnologias através de critérios subjetivos, por isso o modelo pode ser adaptado e replicado em diferentes contextos, considerando diferentes critérios e cenários.

Com relação ao modelo conceitual, apesar de atender ao proposto nesse estudo, possui limitações de pesquisa, principalmente pelas características e particularidades de cada contexto. Sendo assim o modelo não pode ser uma equação exata para todos os contextos, devendo ser adaptado conforme o município e problema, porém os conceitos e as etapas de aplicação dos métodos multicritérios são mantidos.

O trabalho também é limitado conforme os métodos utilizados para estruturação do modelo, assim a revisão sistêmica de literatura apresenta uma limitação com relação a quantidade de informações a serem analisadas, pois ao mesmo tempo que possibilita uma revisão em quantidade muito grande, pode desconsiderar alguns trabalhos com potencial de ser relevantes para o tema em estudo, mas que conforme a metodologia de revisão de literatura Procknow-C acaba excluindo do processo. Outra limitação está diretamente relacionada com os critérios e sua relação com as metodologias multicritérios, pois mesmo com seleção de critérios por especialistas e/ou gestores, cada individuo pode ter interpretações diferentes para um mesmo critério e um mesmo contexto.

Este trabalho não encerra os esforços para chegar a uma solução, para a problemática dos resíduos sólidos, mas propõe uma forma de selecionar tecnologias com potencial de aprimorar tais sistemas de gestão. Por isso para trabalhos futuros, poderá ser realizada:

- Realizar outro método de revisão sistêmica de literatura, a fim de identificar outros critérios e características sustentáveis e inovadoras da gestão de resíduos;



- Replicar o trabalho utilizando outros critérios, métodos de avaliações multicritérios e a opinião de outros decisores;
- Conforme observado no ranqueamento do segundo estudo de caso, faz-se se necessário lapidar o modelo conceitual de forma a aprimorar o ranqueamento de alternativas com resultados similares, em outros termos realizar análises de sensibilidade dos resultados de forma a garantir matematicamente distancias mais significativas entre as alternativas.

Com a crescente evolução das tecnologias e inovações nos modelos de negócios provavelmente esse trabalho já está desatualizado, entretanto a pesquisa sobre inovações e tecnologias na sustentabilidade faz-se imprescindível para a comunidade acadêmica e científica, como uma maneira de nortear os estudos de eficiência e sustentabilidade nos processos gerenciais dos municípios e empresas.

Já para os gestores e consultores que estão diretamente relacionados aos processos, esse trabalho impacta na proposição das melhores técnicas para avaliar a gestão sustentável e tornar a implementação de um processo mais eficiente.

## REFERÊNCIAS

- ARIKAN, E.; ŞİMŞİT-KALENDER, Z. T.; VAYVAY, Ö. Solid waste disposal methodology selection using multi-criteria decision making methods and an application in Turkey. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 403–412, 2017. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.054>>.
- ASIMAKOPOULOS, G.; CHRISTODOULOU, S.; ALEFRAGIS, P.; GIZAS, A.; TRIANTAFILLOU, V. Dynacargo: The Evaluation Results of a Dynamic Waste Collection Management System Based on Real-time and Forecasted Data. **Proceedings of the 20th Pan-Hellenic Conference on Informatics**, p. 7:1–7:5, 2016. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/3003733.3003804>>.
- BANAR, M.; ÖZKAN, A.; KULAÇ, A. Choosing a recycling system using ANP and ELECTRE III techniques. **Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences**, v. 34, n. 3, p. 145–154, 2010.
- BARROS, R. T. DE V. **Elementos de Gestão de Resíduos Sólidos**. Belo Horizonte, 2012.
- BELTON, V.; STEWART, T. J. **Multiple Criteria Decision Analysis. An integrated approach**. Norwell, 2002.
- BETTLEY, A.; BURNLEY, S. Towards Sustainable Operations Management Integrating Sustainability Management into Operations Management Strategies and Practices. **Handbook of Performability Engineering**, p. 875–904, 2008.
- BRASIL. **Lei n. 12.305, de 02 de Agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasil, 2010.
- CAUCHICK MIGUEL, P. A. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. Rio de Janeiro, 2012.
- CHEN, C. T. Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 114, n. 1, p. 1–9, 2000.
- COBAN, A.; ERTIS, I. F.; CAVDAROGLU, N. A. Municipal solid waste management via multi-criteria decision making methods: A case study in Istanbul, Turkey. **Journal of Cleaner Production**, v. 180, p. 159–167, 2018. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85042105301&doi=10.1016%2Fj.jclepro.2018.01.130&partnerID=40&md5=a96ef1d50612c0180fd82f70c55ec596>>.
- DAHLEN, L.; LAGERKVIST, A.; DAHLÉN, L.; LAGERKVIST, A. Pay as you throw Strengths and weaknesses of weight-based billing in household waste collection systems in Sweden. **Waste Management**, v. 30, n. 1, p. 23–31, 2010. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-70649106882&doi=10.1016%2Fj.wasman.2009.09.022&partnerID=40&md5=4af48781aa7522d6e8f3bfd84b79a6dc>>.
- DEUS, R. M.; BATTISTELLE, R. A. G.; SILVA, G. H. R. Scenario evaluation for the management of household solid waste in small Brazilian municipalities. **Clean Technologies**

**and Environmental Policy**, v. 19, n. 1, p. 205–214, 2016. Disponível em:

<<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84969756231&doi=10.1007%2Fs10098-016-1205-0&partnerID=40&md5=a35eb8a5426a14241e5095c0aecc04cf>>.

DIAZ-DIAZ, R.; MUNOZ, L.; PEREZ-GONZALEZ, D.; et al. Business model analysis of public services operating in the smart city ecosystem: The case of SmartSantander. **FUTURE GENERATION COMPUTER SYSTEMS-THE INTERNATIONAL JOURNAL OF ESCIENCE**, v. 76, p. 198–214, 2017. Disponível em:

<<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85019588518&doi=10.1016%2Fj.future.2017.01.032&partnerID=40&md5=1764da9c29f5714d2c7bf5f17cfdaaa0>>.

ELIA, V.; GNONI, M. G.; TORNESE, F. Designing Pay-As-You-Throw schemes in municipal waste management services: A holistic approach. **Waste Management**, v. 44, p. 188–195, 2015. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84941175918&doi=10.1016%2Fj.wasman.2015.07.040&partnerID=40&md5=58ec52a8364fbcc7a56590a3e7737fde>>.

ELIA, V.; GNONI, M. G.; TORNESE, F. Improving logistic efficiency of WEEE collection through dynamic scheduling using simulation modeling. **Waste Management**, v. 72, p. 78–86, 2018. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85034609207&doi=10.1016%2Fj.wasman.2017.11.016&partnerID=40&md5=088db586511a734385aa9c89121adc19>>.

ENVAC group, disponível em <<https://www.envacgroup.com/>> acesso em: Setembro de 2020.

GELBMANN, U.; HAMMERL, B. Integrative re-use systems as innovative business models for devising sustainable product-service-systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 97, p. 50–60, 2015. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84928763450&doi=10.1016%2Fj.jclepro.2014.01.104&partnerID=40&md5=8df6af331a938e7a19375219fdb33509>>.

GUPTA, H.; BARUA, M. K. A framework to overcome barriers to green innovation in SMEs using BWM and Fuzzy TOPSIS. **Science of the Total Environment**, v. 633, p. 122–139, 2018. Elsevier B.V. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.173>>.

GUTIERREZ, J. M.; JENSEN, M.; HENIUS, M.; RIAZ, T. Smart Waste Collection System Based on Location Intelligence. **Procedia Computer Science**, v. 61, p. 120–127, 2015. Elsevier Masson SAS. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.procs.2015.09.170>>.

HART, S. L.; MILSTEIN, M. B. Creating sustainable value. **Academy of Management Perspectives**, v. 17, n. 2, p. 56–67, 2003. Disponível em: <<http://journals.aom.org/doi/10.5465/ame.2003.10025194>>.

HENAM, S.; SAMBYAL, S.S.; Dez cidades com lixo zero: como Capannori inspirou outros municípios europeus com lixo zero, oitava de dez partes. DownToEarth. Dezembro de 2019. Disponível em :< <https://www.downtoearth.org.in/news/waste/ten-zero-waste-cities-how-capannori-inspired-other-european-municipalities-on-zero-waste-68623>> acesso em:

setembro de 2020.

HERVA, M.; ROCA, E. Ranking municipal solid waste treatment alternatives based on ecological footprint and multi-criteria analysis. **Ecological Indicators**, v. 25, p. 77–84, 2013.

HLATKA, M.; STOPKA, O.; CHOVANCOVA, M. The Solution of the Sorted Waste Collection Using the Methods of Multi-criteria Decision-making. , p. 164–170, 2018.

HUANG, Y.-T.; PAN, T.-C.; KAO, J.-J. Performance assessment for municipal solid waste collection in Taiwan. **JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT**, v. 92, n. 4, p. 1277–1283, 2011.

JOVANOVIC, S.; SAVIC, S.; JOVICIC, N.; BOSKOVIC, G.; DJORDJEVIC, Z. Using multi-criteria decision making for selection of the optimal strategy for municipal solid waste management. **Waste Management and Research**, v. 34, n. 9, p. 884–895, 2016. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84982238988&doi=10.1177%2F0734242X16654753&partnerID=40&md5=46e65c2a9bbbd29b97607c6d11a538f6>>.

KHALILI, N. R.; DUECKER, S. Application of multi-criteria decision analysis in design of sustainable environmental management system framework. **Journal of Cleaner Production**, v. 47, p. 188–198, 2013. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84879966964&doi=10.1016%2Fj.jclepro.2012.10.044&partnerID=40&md5=c13efb6a214c97016cc319a034704c01>>.

LOLLI, F.; ISHIZAKA, A.; GAMBERINI, R.; et al. Waste treatment: an environmental, economic and social analysis with a new group fuzzy PROMETHEE approach. **CLEAN TECHNOLOGIES AND ENVIRONMENTAL POLICY**, v. 18, n. 5, SI, p. 1317–1332, 2016.

MAKAN, A.; MALAMIS, D.; ASSOBHEI, O.; LOIZIDOU, M.; MOUNTADAR, M. Multi-criteria decision aid approach for the selection of the best compromise management scheme for the treatment of municipal solid waste in Morocco. **International Journal of Environment and Waste Management**, v. 12, n. 3, p. 300–317, 2013. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84883574219&doi=10.1504%2FIJEW.2013.056197&partnerID=40&md5=90f9fe6347d919a5a59a4e69e145c6c6>>.

MAMUN, M. A. AL; HANNAN, M. A.; HUSSAIN, A. Real time solid waste bin monitoring system framework using wireless sensor network. **2014 International Conference on Electronics, Information and Communications (ICEIC)**, p. 1–2, 2014. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/articleDetails.jsp?arnumber=6914431>>.

MANNI, L. A.; RUNHAAR, H. A. C. The social efficiency of pay-as-you-throw schemes for municipal solid waste reduction: A cost-benefit analysis of four financial incentive schemes applied in Switzerland. **Journal of Environmental Assessment Policy and Management**, v. 16, n. 1, 2014. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84898017937&doi=10.1142%2F146433321450001X&partnerID=40&md5=7319f0202712180fb9e72a621c17d9b3>>.

MARCIS, J.; PROPOSTA DE MODELO DE AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO EM SUSTENTABILIDADE DAS OPERAÇÕES DE COOPERATIVAS AGROPECUÁRIAS, 2017. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <[https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2428/1/PB\\_PPGEPS\\_M\\_Marcis%2c%20Jaqueline\\_2017.pdf](https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2428/1/PB_PPGEPS_M_Marcis%2c%20Jaqueline_2017.pdf)>.

MESQUITA, J. M.; **MÉTODO DE AVALIAÇÃO DO NÍVEL DE SUSTENTABILIDADE DE PROGRAMAS DE ELETRIFICAÇÃO RURAL COM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS INDIVIDUAIS**, 2014. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <[http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/869/1/PB\\_PPGEE\\_M\\_Mesquita%2C José Manuel\\_2014.pdf](http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/869/1/PB_PPGEE_M_Mesquita%2C%20José%20Manuel_2014.pdf)>.

MILUTINOVIĆ, B.; STEFANOVIĆ, G.; DASSISTI, M.; MARKOVIĆ, D.; VUČKOVIĆ, G. Multi-criteria analysis as a tool for sustainability assessment of a waste management model. **Energy**, v. 74, n. C, p. 190–201, 2014.

MILUTINOVIC, B.; STEFANOVIC, G.; KYOSEVA, V.; YORDANOVA, D.; DOMBALOV, I. Sustainability assessment and comparison of waste management systems: The Cities of Sofia and Niš case studies. **Waste Management and Research**, v. 34, n. 9, p. 896–904, 2016.

MIR, M. A.; GHAZVINEI, P. T.; SULAIMAN, N. M. N.; et al. Application of TOPSIS and VIKOR improved versions in a multi criteria decision analysis to develop an optimized municipal solid waste management model. **JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT**, v. 166, p. 109–115, 2016. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84945275147&doi=10.1016%2Fj.jenvman.2015.09.028&partnerID=40&md5=35bc677b068b8ab5391d85ab0e59e9f3>>.

MISRA, D.; DAS, G.; CHAKRABORTTY, T.; DAS, D. An IoT-based waste management system monitored by cloud. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 20, n. 3, p. 1574–1582, 2018. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85043401657&doi=10.1007%2Fs10163-018-0720-y&partnerID=40&md5=b2aa42c92ac651e0f9386359749b6e76>>.

NĂDĂBAN, S.; DZITAC, S.; DZITAC, I. Fuzzy TOPSIS: A General View. **Procedia Computer Science**, v. 91, n. Itqm, p. 823–831, 2016.

NEDER, V. Modelos sustentáveis de energia, transporte e lixo em Estolcomo, *Jornal O GLOBO, Caderno de Economia*, 2012. Disponível em <<https://oglobo.globo.com/economia/rio20/modelos-sustentaveis-de-energia-transporte-lixo-em-estocolmo-5110680>> , acesso em setembro de 2020.

PIRES, A.; CHANG, N.-B.; MARTINHO, G. An AHP-based fuzzy interval TOPSIS assessment for sustainable expansion of the solid waste management system in Setúbal Peninsula, Portugal. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 56, n. 1, p. 7–21, 2011.

PREFEITURA DE SALVADOR, Programa coleta seletiva Salvador, Secretaria municipal de

Sustentabilidade, inovação e resiliência, 2020. Disponível em: <<http://coletaseletiva.salvador.ba.gov.br/index.php>> acesso em Setembro de 2020.

PONGELUPPE WADHY REBEHY, P. C.; COSTA, A. L.; CAMPELLO, C. A. G. B. C. A. G. B.; et al. Innovative social business of selective waste collection in Brazil: Cleaner production and poverty reduction. **JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION**, v. 154, p. 462–473, 2017. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85018568010&doi=10.1016%2Fj.jclepro.2017.03.173&partnerID=40&md5=cc8341a1c357fae275ea575bf11d119>>.

PORTER, M. E.; LINDE, C. VAN DER. The Daily Local News : Serving Chester County. **Harvard Business Review**, p. 119–134, 1995. Disponível em: <<http://www.dailylocal.com/articles/2009/11/25/entertainment/doc4b0c3ab7c4622506398158.txt>>.

RADA, E. C.; RAGAZZI, M.; FEDRIZZI, P. Web-GIS oriented systems viability for municipal solid waste selective collection optimization in developed and transient economies. **Waste Management**, v. 33, n. 4, p. 785–792, 2013. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84875813973&doi=10.1016%2Fj.wasman.2013.01.002&partnerID=40&md5=b54acf2b1a1d047ef75d504d033a994b>>.

RIGAMONTI, L.; STERPI, I.; GROSSO, M. Integrated municipal waste management systems: An indicator to assess their environmental and economic sustainability. **Ecological Indicators**, v. 60, p. 1–7, 2016. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84936862371&doi=10.1016%2Fj.ecolind.2015.06.022&partnerID=40&md5=450df50b8ecf2ecd42c29a63b6da1fbd>>.

RODRIGUES, A. P.; FERNANDES, M. L.; RODRIGUES, M. F. F.; et al. Developing criteria for performance assessment in municipal solid waste management. **Journal of Cleaner Production**, v. 186, p. 748–757, 2018. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85046032723&doi=10.1016%2Fj.jclepro.2018.03.067&partnerID=40&md5=16c8f8296e0345c15b56f9cbdd873f6c>>.

SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. **Journal of Mathematical Psychology**, v. 15, n. 3, p. 234–281, 1977.

AJAYI, S. O.; OYEDELE, L. O.; BILAL, M.; AKINADE, O. O.; Alaka, H. A.; Owolabi, H. A.; Kadiri, Kabir O.; Waste effectiveness of the construction industry: Understanding the impediments and requisites for improvements. **Resources, Conservation and Recycling** 102 (2015) 101 - 112.

SARRA, A.; MAZZOCCHITTI, M.; RAPPOSELLI, A. Evaluating joint environmental and cost performance in municipal waste management systems through data envelopment analysis: Scale effects and policy implications. **Ecological Indicators**, v. 73, p. 756–771, 2017. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85006167749&doi=10.1016%2Fj.ecolind.2016.10.035&partnerID=40&md5=0aafe2aa5da69>>

58662702389cecf7b4a>.

SHARMIN, S.; AL-AMIN, S. T. A Cloud-based Dynamic Waste Management System for Smart Cities. , p. 1–4, 2016.

SILVA, C. L. Proposal of a dynamic model to evaluate public policies for the circular economy: Scenarios applied to the municipality of Curitiba. **Waste Management**, v. 78, p. 456–466, 2018. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85048380507&doi=10.1016%2Fj.wasman.2018.06.007&partnerID=40&md5=6179b2192580c578ccfc4cae2991fb5a>>.

SIMÕES, P.; CARVALHO, P.; MARQUES, R. C. Performance assessment of refuse collection services using robust efficiency measures. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 67, p. 56–66, 2012. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84865448702&doi=10.1016%2Fj.resconrec.2012.07.006&partnerID=40&md5=cd9a2127e1a15e47ea1f203371b436ad>>.

SRDJEVIC, B. Combining different prioritization methods in the analytic hierarchy process synthesis. **Computers and Operations Research**, v. 32, n. 7, p. 1897–1919, 2005.

STEFANOVIĆ, G.; MILUTINOVIĆ, B.; VUČIĆEVIĆ, B.; DENČIĆ-MIHAILOV, K.; TURANJANIN, V. A comparison of the Analytic Hierarchy Process and the Analysis and Synthesis of Parameters under Information Deficiency method for assessing the sustainability of waste management scenarios. **Journal of Cleaner Production**, v. 130, p. 155–165, 2016.

TANG, C. S.; ZHOU, S. Research advances in environmentally and socially sustainable operations. **European Journal of Operational Research**, v. 223, n. 3, p. 585–594, 2012. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2012.07.030>>.

TEKNOMO, K. **Analytic Hierarchy Process (AHP) Tutorial**. 2006.

THOMAS L. SAATY. Decision making with the analytic hierarchy process. **Int. J. Services Sciences**, v. 1, n. 1, p. 83, 2008. Disponível em: <<http://www.rafikulislam.com/uploads/resources/197245512559a37aadea6d.pdf>>.

THÜRER, M.; PAN, Y. H.; QU, T.; et al. Internet of Things (IoT) driven kanban system for reverse logistics: solid waste collection. **Journal of Intelligent Manufacturing**, p. 1–10, 2016. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85001818169&doi=10.1007%2Fs10845-016-1278-y&partnerID=40&md5=cb7af21a67f351b5ad4ec28b96b334cf>>.

TOPALOGLU, M.; YARKIN, F.; KAYA, T. Solid waste collection system selection for smart cities based on a type-2 fuzzy multi-criteria decision technique. **Soft Computing**, v. 22, n. 15, p. 4879–4890, 2018. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85046895504&doi=10.1007%2Fs00500-018-3232-8&partnerID=40&md5=42302a25be0d3d10480357ae2c3298ec>>.

TSENG, M. L.; BUI, T. D. Identifying eco-innovation in industrial symbiosis under linguistic preferences: A novel hierarchical approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 140, p. 1376–

1389, 2017. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.014>>. .  
TZENG, G.-H.; HUANG, J.-J. **Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications**. 2011.

UEDA, K.; TAKENAKA, T.; VÁNCZA, J.; MONOSTORI, L. Value creation and decision-making in sustainable society. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 58, n. 2, p. 681–700, 2009.

VUCIJAK, B.; SILAJD, I. Multicriteria decision making in selecting best solid waste management scenario : a municipal case study from Bosnia and Herzegovina. **Journal C leaner Production**, 2015.

WALTON, S. V.; HANDFIELD, R. B.; MELNYK, S. A. The Green Supply Chain: Integrating Suppliers into Environmental Management Processes. **International Journal of Purchasing and Materials Management**, v. 34, n. 1, p. 2–11, 2006.

WEN, Z.; HU, S.; DE CLERCQ, D.; et al. Design, implementation, and evaluation of an Internet of Things (IoT) network system for restaurant food waste management. **Waste Management**, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.11.054>>.

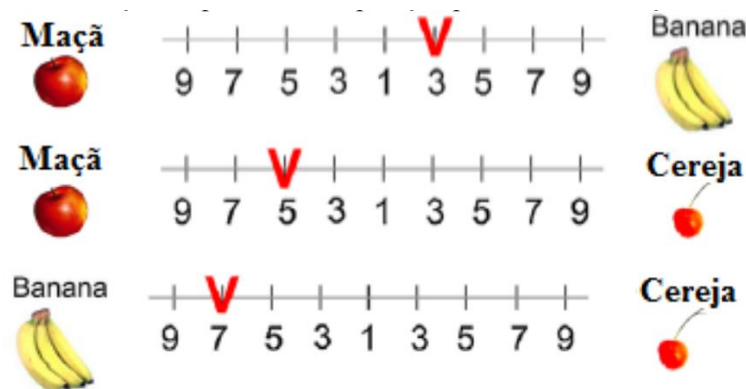
YERRABOINA, S.; KUMAR, N. M.; PARIMALA, K. S.; ARUNA JYOTHI, N. Monitoring the smart garbage bin filling status: An iot application towards waste management. **International Journal of Civil Engineering and Technology**, v. 9, n. 6, p. 373–381, 2018. Disponível em: <<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85049254292&partnerID=40&md5=ad40ccee9eda35018c4e3566a6ea3473>>.



## ANEXO I – ORIENTAÇÕES PARA PRIORIZAÇÃO DOS CRITÉRIOS.

A comparação pareada funciona da seguinte forma, supondo a comparação entre maçã, banana e cereja, se o julgador gostar mais de banana do que da maçã atribui um peso entre 1 e 9 do lado direito, se gosta mais de maçã que cereja marca um peso no lado esquerdo e se gosta mais de banana que de cereja marca do lado esquerdo (Figura abaixo) (TEKNOMO, 2006).

Figura 1: Exemplo de atribuição de pesos na comparação pareada.



Fonte: Teknomo (2006)

A seguir é apresentada a escala fundamental de Saaty adaptada, que serve de orientação para comparação pareada de critérios.

Quadro 1: Escala Fundamental de números absolutos.

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Igual importância	Duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
2	Fraca ou ligeiramente fraca	
3	Moderada importância	Experiências favorecem ligeiramente uma atividade em detrimento de outro
4	Mais moderada importância	
5	Forte importância	Experiência e julgamento favorecem fortemente uma atividade em detrimento de outro
6	Mais forte importância	
7	Muito forte ou demonstrada importância	Uma atividade é favorecida muito fortemente sobre a outra; seu domínio demonstrado na prática
8	Muito, muito forte	
9	Extrema importância	A evidência de favorecimento uma atividade em detrimento de outra é da mais alta ordem possível de afirmação

Fonte: adaptado de Saaty (2008).

Na sequência são apresentados os critérios selecionados por especialistas.

Quadro 2: Critérios selecionados.

Critérios Sociais	Aceitação Pública	Critérios Ambientais	Quantidade de Resíduos coletados	Critérios Econômicos	Custo de Equipamentos
	Conscientização		Riscos e impactos ambientais		Custo de Investimentos
	Segurança e Higiene		Redução de Recicláveis em aterros		Custos Operacionais
					Renda de recicláveis
					Eficiência do sistema

Fonte: Autoral.

Abaixo segue um quadro de comparação dos critérios a ser devidamente assinalado com um círculo, ou “X”, ou outra marcação para indicar a intensidade de importância dos critérios, conforme as orientações supracitadas.

Quadro 3: Comparação dos critérios.

Critérios Sociais																		
Aceitação Pública	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Conscientização
Aceitação Pública	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Segurança e Higiene
Conscientização	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Segurança e Higiene
Critérios Ambientais																		
Quantidade de Resíduos coletados	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Riscos e impactos ambientais
Quantidade de Resíduos coletados	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Redução de recicláveis em aterros
Riscos e impactos ambientais	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Redução de recicláveis em aterros
Critérios Econômicos																		
Custo Equipamentos	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo de Investimento
Custo Equipamentos	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo Operacional
Custo Equipamentos	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Renda de recicláveis
Custo Equipamentos	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Eficiência do sistema
Custo de Investimento	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Custo Operacional
Custo de Investimento	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Renda de recicláveis
Custo de Investimento	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Eficiência do sistema
Custo Operacional	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Renda de recicláveis
Custo Operacional	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Eficiência do sistema
Renda de recicláveis	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Eficiência do sistema

Fonte: Autoral.

## APÊNDICE 1

FICHA DO ARTIGO	
Artigo 1	Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos: Análise Bibliométrica e Sistêmica da Literatura
Autores	Douglas Alcindo da Roza
	Sandro César Bortoluzzi
	Edson Pinheiro de Lima
Nome do Evento	CONRESOL – 1º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade
<i>Status</i>	Publicado

## GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA E SISTÊMICA DA LITERATURA

Douglas Alcindo da Roza (\*), Sandro César Bortoluzzi, Edson Pinheiro de Lima

\* Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Alcindo.d@hotmail.com.

### RESUMO

Os processos de expansão e o desenvolvimento urbano veem se intensificando ao longo dos anos e consequentemente aumentam a produção de resíduos, por isso torna-se evidente a preocupação com o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos de forma estratégica e sustentável. Neste contexto o presente trabalho é motivado pela busca de lacunas e tendências de pesquisas relacionadas à avaliação da gestão sustentável de resíduos sólidos urbanos. O objetivo do trabalho é realizar a caracterização da situação atual na gestão de resíduos sólidos urbanos pela ótica da comunidade científica internacional, através dos seguintes objetivos específicos: (i) selecionar um portfólio bibliográfico alinhado ao tema gestão de resíduos sólidos urbanos; (ii) realizar análise bibliométrica do portfólio bibliográfico; e, (iii) realizar uma análise sistêmica/conteúdo dos artigos selecionados. Para atender aos objetivos utiliza-se a metodologia sistemática de revisão da literatura proposto por Ensslin et al. (2010) denominada *Knowledge Development Process-Constructivist (ProKnow-C)* para organização do portfólio bibliográfico alinhado ao tema da pesquisa. Como resultados, foram selecionados 19 artigos para as análises. A análise bibliométrica identificou *Waste Management & Research*, *Journal of Cleaner Production*, e *Waste Management* como periódicos mais relevantes no portfólio e nas referências dos artigos do portfólio, o artigo identificado com maior reconhecimento científico é o *Application of multi-criteria decision analysis in design of sustainable environmental management system framework* dos autores Khalili & Duecker, publicado no *Journal of Cleaner Production* em 2013 com 99 citações no *google acadêmico*. Na análise sistêmica foram identificados 9 artigos que utilizam os critérios de sustentabilidade (ambiental, econômico e social). Com relação ao levantamento das metodologias utilizadas, vale destacar a metodologia *Analytic Hierarchy Process (AHP)* que é a mais recorrente nos artigos do portfólio. Os artigos do portfólio bibliográfico mostraram-se representativos para o tema gestão de resíduos sólidos urbanos e indicam tendências de pesquisas auxiliadas por metodologias de análises multicritério e multiobjetivo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Proknow-C, Gestão de resíduos sólidos, sustentabilidade.

### ABSTRACT

The processes of expansion and urban development have intensified over the years and consequently increase the production of waste, so it becomes evident the concern with the management of urban solid waste in a strategic and sustainable way. In this context, the present work is motivated by the search for gaps and research trends related to the evaluation of the sustainable management of solid urban waste. The objective of this work is to characterize the current situation in the management of urban solid waste from the perspective of the international scientific community, through the following specific objectives: (i) to select a bibliographic portfolio aligned with the theme of urban solid waste management; (ii) perform bibliometric analysis of the bibliographic portfolio; and, (iii) perform a systemic / content analysis of the selected articles. To meet the objectives, the systematic literature review methodology proposed by Ensslin et al. (2010) Knowledge Development Process-Constructivist (ProKnow-C) for organization of a bibliographic portfolio aligned to the theme of urban solid waste management. As results, 19 articles were selected for the analysis. The bibliometric analysis identified *Waste Management & Research*, *Journal of Cleaner Production*, and *Waste Management* as more relevant journals in the portfolio and in the references of the articles of the portfolio, the article identified with greater scientific recognition is *Application of multi-criteria decision analysis in design of sustainable environmental management system framework* of authors Khalili & Duecker, published in the *Journal of Cleaner Production* in 2013 with 99 citations in *google academic*. In the systemic analysis were identified 9 articles that use the environmental, economic and social criteria. Regarding the methodologies used, it is worth mentioning the *Analytic Hierarchy Process (AHP)* methodology that is the most recurrent in the portfolio articles. The articles in the bibliographic portfolio were representative for the urban solid waste management theme and indicate trends of research supported by multicriteria and multiobjective analysis methodologies.

**KEY WORDS:** Proknow-C, Solid waste management, sustainability.

## INTRODUÇÃO

As estratégias de gestão ambiental são baseadas na concepção de abordagens integradas que possam garantir a sustentabilidade, ou seja, possibilitando a redução dos impactos negativos ao meio ambiente, a economia e a sociedade (KHALILI, N. R. et al. 2012). Conforme Fernandes et al. (2017), a avaliação da sustentabilidade nas operações de gestão de resíduos municipais é importante para tomada de decisão dos gestores e autoridades municipais de forma estratégica.

Segundo Kaufman, S.M. et al. (2010), o êxito na execução de estratégias eficazes de gestão de resíduos requer a existência de ferramentas de *benchmarking* que permitam uma comparação orientada por metas de sistemas alternativos do ponto de vista da sustentabilidade ambiental.

De acordo com Vulčijak B. et al. (2015), uma estratégia comum adotada pelos municípios é o sistema de coleta seletiva e reciclagem de resíduos que podem reduzir a quantidade de resíduos destinados a aterro sanitários, diminuir a frequência de transporte de resíduos e minimizar custos gerais de disposição. A coleta seletiva pode ser baseada em vários cenários, dependendo da situação local e da infraestrutura disponível.

Para Milutinović B. (2016) avaliação da sustentabilidade de um sistema de gestão de resíduos é um problema complexo por tratar-se de avaliação ambiental, viabilidade econômica e aceitabilidade social, bem como, da escolha da técnica de tratamento de resíduos, por isso torna-se importante comparar sistemas de gestão de resíduos em áreas com características semelhantes, de países da mesma região, com um nível similar de desenvolvimento e padrões de vida semelhantes, além de países cujos sistemas de gestão de resíduos estão em um nível mais alto de desenvolvimento.

Neste sentido surgem as perguntas que orientam esse trabalho: Com relação ao tema gestão sustentável de resíduos sólidos urbanos, quais as principais características bibliométricas (periódicos, artigos, autores)? E quais técnicas de avaliação e indicadores estão sendo utilizados de acordo com a literatura científica internacional?

Para responder as perguntas, o presente trabalho busca construir conhecimento por meio de pesquisas bibliográficas e bibliométricas sobre o contexto da gestão sustentável de resíduos sólidos urbanos, utilizando uma metodologia de análise sistêmica da literatura, que permite a organização e análise de um portfólio de artigos científicos, representativo e alinhados ao contexto da pesquisa.

## OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é realizar a caracterização da situação atual na gestão de resíduos sólidos urbanos pela ótica da comunidade científica internacional. Para alcançar o objetivo principal deste trabalho, foram definidos os seguintes objetivos específicos: (i) selecionar um portfólio bibliográfico alinhado ao tema gestão de resíduos sólidos urbanos; (ii) realizar análise bibliométrica do portfólio bibliográfico; e, (iii) realizar uma análise sistêmica/conteúdo dos artigos selecionados.

## METODOLOGIA

Este trabalho caracteriza-se como uma revisão sistêmica da literatura e pode servir de base para o desenvolvimento e elaboração de um modelo teórico conceitual para avaliação do gerenciamento de resíduos. Neste sentido utiliza-se o instrumento de intervenção proposto por Ensslin et al. (2010), *Knowledge*

*Development Process-Constructivist (ProKnow-C)* que veem sendo utilizado por diversos pesquisadores (RODRIGUES, A. P. et al. 2018; ENSSLIN, L. et al. 2017; SANTOS, A. I. et al. 2017; DUTRA, A. et al. 2015; LACERDA, R.T.O. et al. 2014; VILELA, L. O. 2012; BORTOLUZZI, S. C. et al. 2010;).

A metodologia pode ser descrita em etapas, a Tabela 1 descreve sucintamente, os passos seguidos para organização do portfólio bibliográfico, representativo e alinhado ao tema pesquisado por meio da metodologia *Proknow-C*.

**Tabela 1: Descrição simplificada das etapas do *Proknow-C* para organização do Portfólio Bibliográfico.**

**Fonte: Autores do trabalho.**

<b>Etapas</b>	<b>Descrição</b>
1	<u>Definição do alinhamento da pesquisa:</u> definição dos eixos de pesquisa, palavras-chave e bases de dados a serem pesquisadas.
2	<u>Organização do banco de dados:</u> exportam-se para um <i>software</i> , gerenciador bibliográfico, as referências resultantes das pesquisas realizadas na etapa 1. Após a exportação dos dados, são excluídos os artigos duplicados, e outros não classificados como <i>Journal Article</i> .
3	<u>Alinhamento pela leitura dos títulos:</u> realiza-se a leitura dos títulos das referências, para verificação quanto ao alinhamento com o tema a ser pesquisado, apenas os artigos alinhados são selecionados e continuam no processo.
4	<u>Verificação do reconhecimento científico:</u> faz-se pesquisas com relação à quantidade de citações no <i>google acadêmico</i> dos artigos selecionados na etapa 3. Os artigos com mais citações tem maior reconhecimento científico. Os artigos com menos de 5 citações (neste trabalho) são separados e formam um banco de dados secundário.
5	<u>Alinhamento pela leitura do resumo:</u> Consiste na leitura dos resumos dos artigos com reconhecimento científico comprovado (5 ou mais citações) para verificação quanto ao alinhamento com o tema pesquisado, apenas os artigos alinhados são selecionados e continuam no processo.
6	<u>Organização de um banco de autores:</u> os autores dos artigos selecionados na etapa 5, são identificados e listados para a organização de um banco de autores.
7	<u>Reanálise:</u> consiste em verificar, se os artigos que formaram um banco de dados secundário na etapa 4, que não possuem reconhecimento científico comprovado (menos que 5 citações) atende a uma das seguintes situações (i) tem menos de 2 anos de publicação ou, (ii) foi produzido por um autor que consta no banco de autores da etapa 6. Caso seja positivo para uma das situações descritas, faz-se a leitura do resumo para verificação do alinhamento ao tema pesquisado. Aqueles alinhados são selecionados e integrados ao banco de dados organizado na etapa 5.
8	<u>Alinhamento pela leitura completa:</u> faz-se a busca pela obra completa das referências remanescentes no processo de seleção, somente os disponíveis integralmente e alinhados ao tema da pesquisa são aqueles que compõem o portfólio bibliográfico final.

Com o portfólio bibliográfico definido torna-se possível à análise da literatura, nesse artigo são realizadas análises bibliométrica dos autores, periódicos e artigos de maior relevância no portfólio bibliográfico e em suas referências. Para Ensslin et al. (2010), o conceito de bibliometria consiste no processo de evidenciação quantitativa dos dados estatísticos de um Portfólio Bibliográfico, para a gestão da informação e do conhecimento científico de um dado assunto, realizado por meio da contagem de documentos.

Também é estudada a análise sistêmica de conteúdo para identificar critérios de gestão sustentável de resíduos sólidos urbanos e as metodologias de avaliação mais evidentes nos artigos do portfólio. A análise sistêmica segundo Blonkoski et al. (2017) é um instrumento de construção do conhecimento que permite conhecer o estado da arte do tema pesquisado, neste sentido a análise sistêmica poderá fornecer informações de conteúdo e tendências de estudos na temática de avaliação na gestão de resíduos sólidos urbanos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Definidos os eixos de pesquisa e palavras-chaves (Figura 1), foram realizadas 18 combinações de palavras-chave para realização da pesquisa nas bases de dados *scopus* e *web of Science*, que segundo Blonkoski et al. (2017), são consideradas bases de publicação científica de maior relevância no contexto internacional, tais bases de dados, são eletrônicas e disponibilizam ferramentas de busca com expressões *booleanas*. Na Figura 1 é possível verificar os eixos e palavras-chave utilizadas para a pesquisa.



**FIGURA 1: EIXOS DE PESQUISA E PALAVRAS-CHAVE. FONTE: AUTORES DO TRABALHO.**

Com as pesquisas obteve-se um resultado de 3.564 artigos científicos na base *scopus* e 1.885 artigos científicos na *web of Science*, totalizando 5.449 artigos científicos para composição de um banco de dados bruto.

As referências resultantes das pesquisas foram exportados em formato .BibTex para o *software* de gerenciamento bibliográfico *Mendeley*, onde foram excluídos os duplicados, aqueles publicados há mais de 10 anos e outras referências que não eram classificadas pelo *software* como *Journal article*, resultando assim em 2.247 artigos. O processo de leitura dos títulos identificou 503 artigos alinhados ao tema da pesquisa, desses artigos, fez uma busca no *google acadêmico* para verificação quanto ao seu reconhecimento científico (citações dos artigos). Organizaram-se dois novos bancos de artigos, aqueles com mais de 5 citações totalizando 314 artigos e outros 189 artigos que possuíam menos de 5 citações no *google acadêmico*.

Os 314 artigos selecionados pelo reconhecimento científico, passaram pelo processo de leitura dos resumos para verificação do alinhamento ao tema da pesquisa, nesse processo 80 artigos foram selecionados e a partir desses fez-se a organização de um banco de autores totalizando 255 autores.

Os 189 artigos que possuíam menos de 5 citações passaram por um processo denominado reanálise, que consiste em verificar se o artigo tem menos de 2 anos de publicação ou se foi produzido por um autor que conste no banco de autores, se atender a um desses requisitos o artigo deve passar pela leitura do resumo para verificação seu alinhamento com o tema da pesquisa, caso contrario é descartado do processo. No processo de reanálise foram selecionados 11 artigos.

O somatório dos bancos de dados com 80, do reconhecimento científico e com 11 referências da reanálise, possibilitou a formação de um banco de dados composto por 91 artigos não repetidos, com títulos e resumo alinhado ao tema da pesquisa e com devido reconhecimento científico. As referências dos 91 artigos foram pesquisados para obtenção integral da obra, porém 13 não foram encontrados, para os outros 78 fez-se a

leitura completa para verificação do alinhamento da obra com o tema da pesquisa, o resultado encontrado foram 19 artigos para composição do portfólio bibliográfico, conforme a Tabela 2.

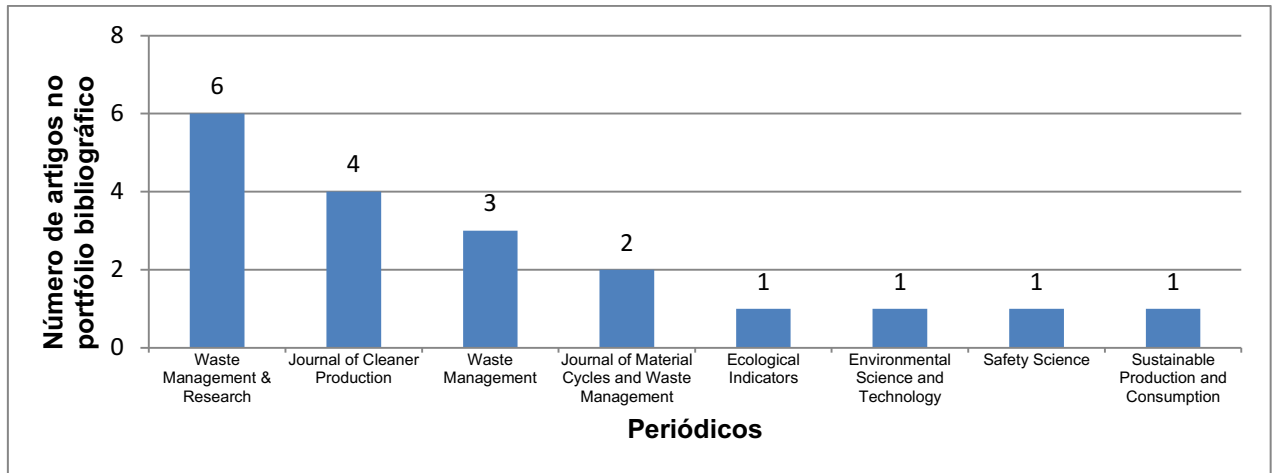
**Tabela 2: Portfólio bibliográfico**

**Fonte: Autores do trabalho.**

1	Angelo, A. C. M., et al. (2017). "Life Cycle Assessment and Multi-criteria Decision Analysis: Selection of a strategy for domestic food waste management in Rio de Janeiro." <i>Journal of Cleaner Production</i> 143: 744-756.
2	Battaglia, M., et al. (2015). "Occupational health and safety management in municipal waste companies: A note on the Italian sector." <i>Safety Science</i> 72: 55-65.
3	Căilean, D. and C. Teodosiu (2016). "An assessment of the Romanian solid waste management system based on sustainable development indicators." <i>Sustainable Production and Consumption</i> 8: 45-56.
4	Greene, K. L. and D. J. Tonjes (2014). "Quantitative assessments of municipal waste management systems: Using different indicators to compare and rank programs in New York State." <i>Waste Management</i> 34(4): 825-836.
5	Josimović, B., et al. (2015). "Multi-criteria evaluation in strategic environmental assessment for waste management plan, a case study: The city of Belgrade." <i>Waste Management</i> 36: 331-342.
6	Kaufman, S. M., et al. (2010). "A screening life cycle metric to benchmark the environmental sustainability of waste management systems." <i>Environmental Science and Technology</i> 44(15): 5949-5955.
7	Khalili, N. R. and S. Duecker (2013). "Application of multi-criteria decision analysis in design of sustainable environmental management system framework." <i>Journal of Cleaner Production</i> 47: 188-198.
8	López-Toro, A. A., et al. (2016). "Consideration of stakeholder interests in the planning of sustainable waste management programmes." <i>Waste Management and Research</i> 34(10): 1036-1046.
9	Menikpura, S. N. M., et al. (2012). "Framework for life cycle sustainability assessment of municipal solid waste management systems with an application to a case study in Thailand." <i>Waste Management and Research</i> 30(7): 708-719.
10	Menikpura, S. N. M., et al. (2012a). "Sustainability assessment of municipal solid waste management in Sri Lanka: Problems and prospects." <i>Journal of Material Cycles and Waste Management</i> 14(3): 181-192.
11	Milutinovic, B., et al. (2016). "Sustainability assessment and comparison of waste management systems: The Cities of Sofia and Niš case studies." <i>Waste Management and Research</i> 34(9): 896-904.
12	Mirdar Harijani, A., et al. (2017). "A multi-objective model for sustainable recycling of municipal solid waste." <i>Waste Management and Research</i> 35(4): 387-399.
13	Moutavtchi, V., et al. (2010). "Solid waste management by application of the WAMED model." <i>Journal of Material Cycles and Waste Management</i> 12(2): 169-183.
14	Rigamonti, L., et al. (2016). "Integrated municipal waste management systems: An indicator to assess their environmental and economic sustainability." <i>Ecological Indicators</i> 60: 1-7.
15	Santibañez-Aguilar, J. E., et al. (2013). "Optimal planning for the sustainable utilization of municipal solid waste." <i>Waste Management</i> 33(12): 2607-2622.
16	Stefanović, G., et al. (2015). "A comparison of the Analytic Hierarchy Process and the Analysis and Synthesis of Parameters under Information Deficiency method for assessing the sustainability of waste management scenarios." <i>Journal of Cleaner Production</i> 130: 155-165.
17	Su, J.-P., et al. (2010). "Applying multi-criteria decision-making to improve the waste reduction policy in Taiwan." <i>Waste Management &amp; Research</i> 28(1): 20-28.
18	Tot, B., et al. (2016). "Evaluation of key driver categories influencing sustainable waste management development with the analytic hierarchy process (AHP): Serbia example." <i>Waste Management and Research</i> 34(8): 740-747.
19	Vucijak, B., et al. (2016). "Multicriteria decision making in selecting best solid waste management scenario: a municipal case study from Bosnia and Herzegovina." <i>Journal of Cleaner Production</i> 130: 166-174.

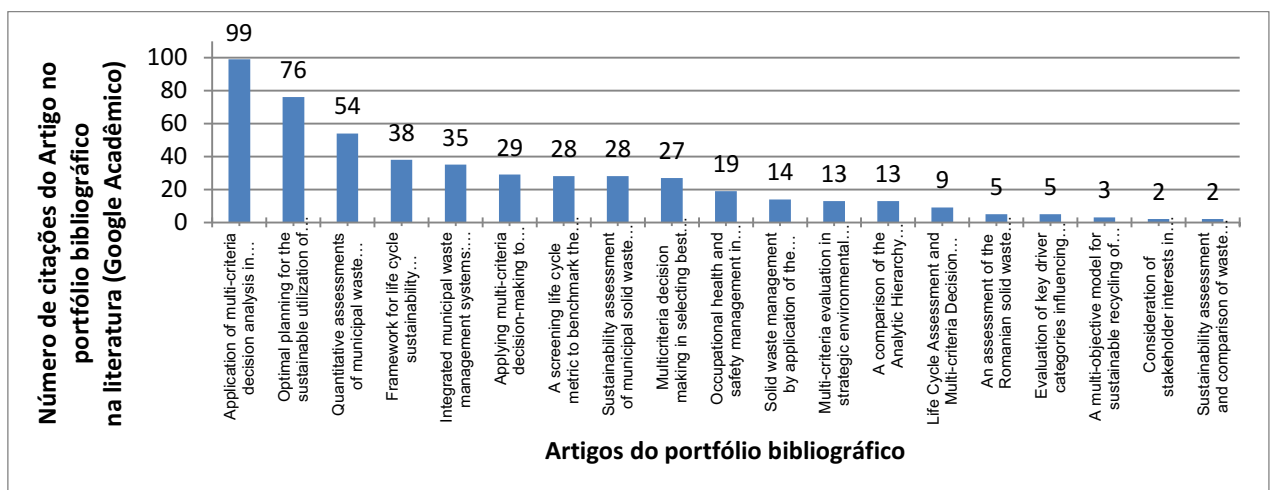
Com relação às análises bibliométricas, a primeira análise realizada é quanto aos periódicos mais relevantes no portfólio bibliográfico, verificou que *Waste Management & Research*, *Journal of Cleaner Production*, e *Waste Management* são os mais relevantes para as condições e tema proposto na pesquisa, consistindo de mais de 50% das obras que compõem o portfólio. Na Figura 2 verificam-se os periódicos identificados no portfólio bibliográfico e sua relevância.





**Figura 2: Relevância dos periódicos no portfólio bibliográfico. Fonte: Autores do Trabalho.**

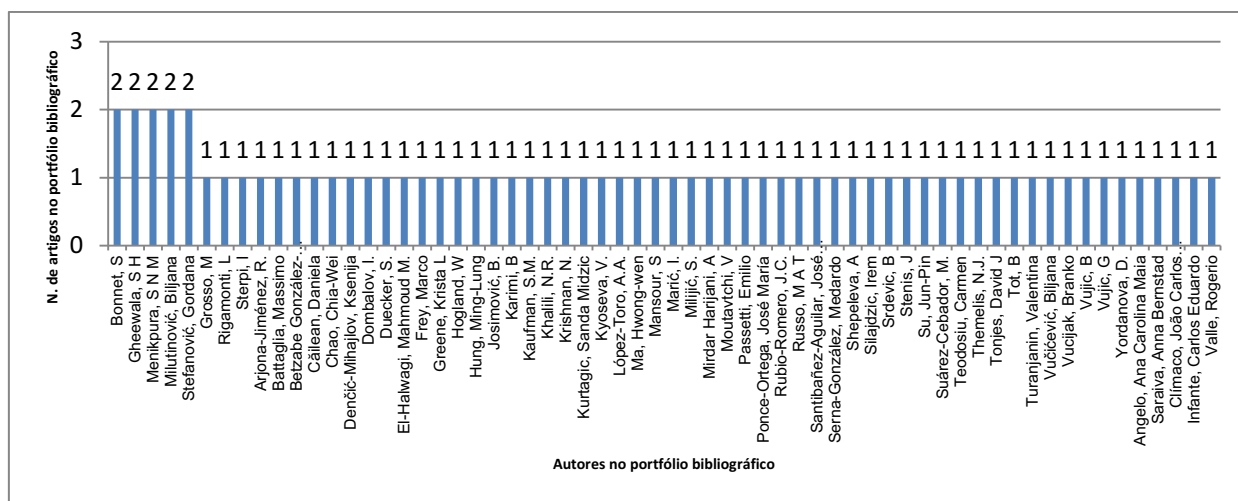
A segunda análise é com relação aos artigos mais relevantes no Portfólio Bibliográfico, atribuindo tal relevância a quantidade de citações ou reconhecimento científico dos artigos, sendo que os 3 identificados como mais relevantes são: (i) “*Application of multi-criteria decision analysis in design of sustainable environmental management system framework*” dos autores Khalili & Duecker, publicado no *Journal of Cleaner Production* em 2013 com 99 citações; (ii) “*Optimal planning for the sustainable utilization of municipal solid waste*” de Santibañez-Aguilar et al., publicado na *Waste Management* em 2013, com 76 citações; e, (iii) “*Quantitative assessments of municipal waste management systems: Using different indicators to compare and rank programs in New York State*” dos autores Greene & Tonjes publicado na *Waste Management* em 2014 com 54 citações. Na Figura 3 é possível verificar e comparar o nível de reconhecimento ou relevância de todos os 19 artigos.



**Figura 3: Relevância dos artigos no portfólio bibliográfico. Fonte: Autores do Trabalho.**

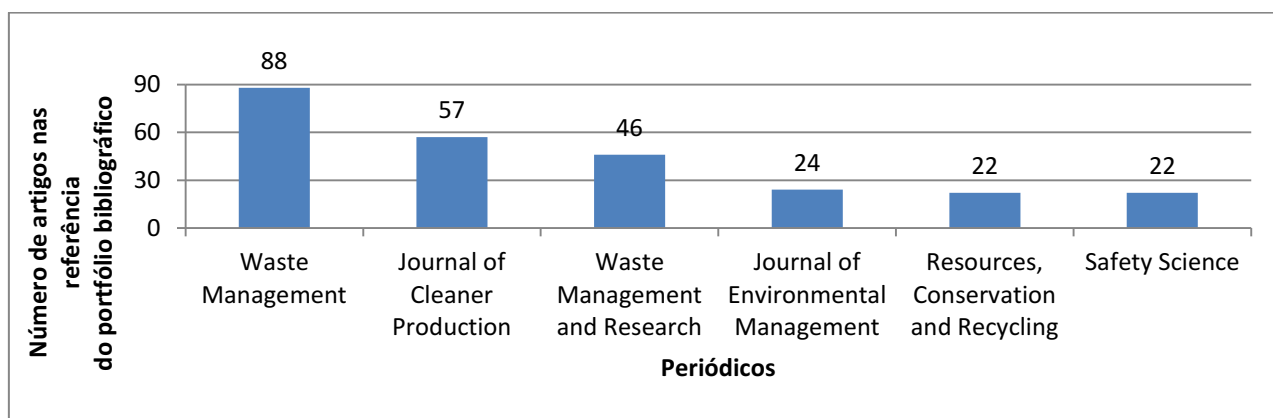
Para as análises bibliométricas do portfólio fez-se também a identificação e relevância dos autores do portfólio. Contabilizaram-se 62 autores, sendo que apenas 5 autores tiveram participação em mais de um artigo. Os autores Bonnet, S.H.; Gheewala, S. H ; Menikpura, S. N. M.; Milutinović, B. e Stefanović, G. são os autores

com maior relevância no portfólio, por serem identificados como autores ou coautores em duas obras. Na Figura 4 verificam-se os autores e sua relevância no portfólio bibliográfico.



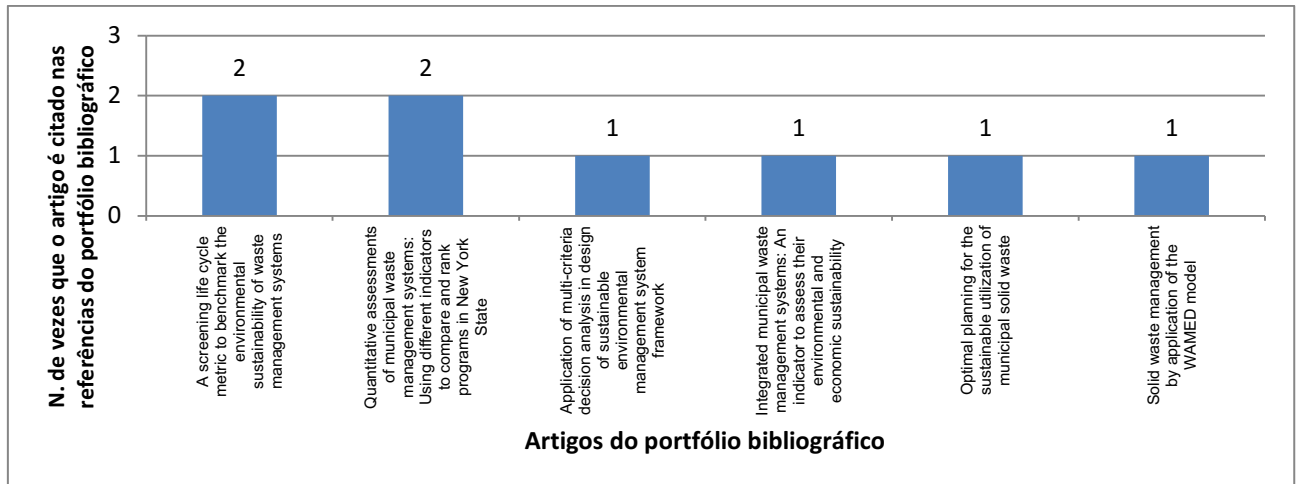
**Figura 4: Autores com maior participação no portfólio bibliográfico. Fonte: Autores do Trabalho.**

Posterior à análise do portfólio fez-se análise das referências dos artigos do portfólio bibliográfico. Com relação aos periódicos, foram identificados 226, sendo os de maior relevância para as referências do portfólio, os mesmos periódicos mais relevantes no portfólio, porém não na mesma ordem de relevância. Conforme a Figura 5 verifica-se os periódicos e o número de artigos presentes nas referências do portfólio. Observa-se que *Waste Management* possui 88 artigos, *Journal of Cleaner Production* tem 57 artigos e *Waste Management & Research* 46 artigos nas referências do portfólio bibliográfico.



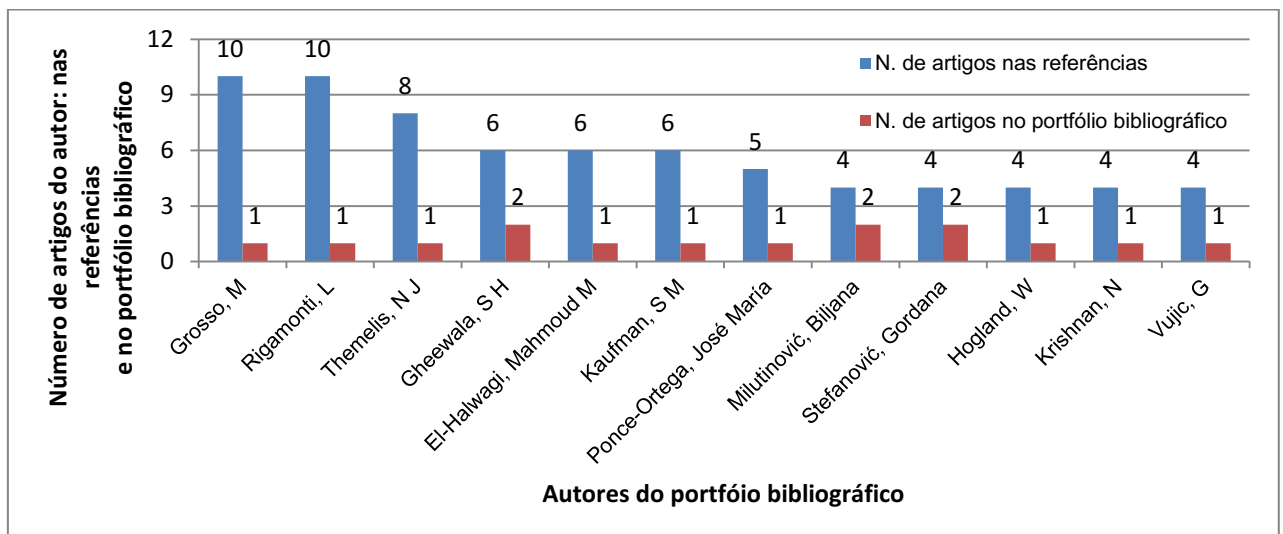
**Figura 5: Relevância dos periódicos nas referências do portfólio bibliográfico. Fonte: Autores do Trabalho.**

Outra análise é com relação aos artigos do portfólio que mais são citados nas referências do próprio portfólio. Observa-se na Figura 6, os artigos do portfólio mais relevantes nas referências, verifica-se que apenas 6 artigos são citados nas referências, e dentre esses, constam os 3 artigos mais citados no *google acadêmico*, já mencionados na análise dos artigos com maior reconhecimento científico do portfólio.



**Figura 6: Relevância dos artigos do portfólio bibliográfico nas referências bibliográficas no portfólio bibliográfico. Fonte: Autores do Trabalho.**

Quanto aos autores mais relevantes nas referências, foi possível identificar que os autores Rigamonti, L. e Grosso, M., são os profissionais que mais se destacam nas referências. Segue na Figura 7 uma comparação gráfica entre a participação ou a relevância do autor no portfólio e nas referências do portfólio bibliográfico.



**Figura 7: autores com maior participação no portfólio e em suas referências. Fonte: Autores do Trabalho.**

A análise sistêmica consistiu na identificação das principais metodologias e critérios de avaliação da gestão municipal de resíduos sólidos urbanos sob a ótica da sustentabilidade. Buscou-se identificar no portfólio bibliográfico os artigos com critérios ambientais, econômicos e sociais. Foram identificados 9 artigos, que continham necessariamente esses 3 critérios, fez-se então o levantamento de indicadores de desempenho para tais critérios. Na Tabela 2 constam as metodologias e indicadores de avaliação da gestão de resíduos sólidos encontradas na literatura científica selecionada.

**Tabela 2: Metodologias e indicadores de sustentabilidade identificadas no portfólio bibliográfico.**

## Fonte: Autores do trabalho.

AUTOR	MÉTODO	CRITÉRIOS E INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE		
		AMBIENTAL	ECONÔMICO	SOCIAL
Stefanović et al. 2015	AHP	Emissão GEE;	Custo de investimento;	Criação emprego;
	ASPID	Emissão gases ácidos; Redução de Resíduos;	Custo de operação; Receitas;	Aceitação pública;
Harijani et al. 2017	AHP	Emissão GEE;	Lucro do sistema;	Qualidade do produto;
	TOPSIS	Emissão gases ácidos; Emissão metais pesados; Emissão COVs;		Aceitação pública; Criação emprego; Dano ao trabalhador; Volume de negocio;
Khalili & Duecker 2013	Electre III	Massa de Resíduos;	Custo com Capital; Custo operação; Custo gerenciamento; Transporte;	Geração emprego; Receita;
Su, j. et al. 2010	TOPSIS	Impacto Ambiental;	Custo coleta; Custo tratamento; Custo execução; Custo proporcional;	Educação; Aceitação Pública; Justiça social;
López-Toro et al. 2016	Questionário de opinião com especialistas e stakeholders	Ruído; Cheiro; Impacto visual; Poluição; Recursos finitos; Tratamento de resíduos;	Custos; Lucro;	Distância lixoira; Ocupação espaços; Segurança; Criação emprego; Qualidade emprego Qualidade serviço; Trafego;
Menikpura et al. 2012	ACV	Recuperação de materiais; Recuperação de energia;	Viabilidade financeira;	Bem estar comunitário; Danos a saúde humana;
Menikpura et al. 2012a	ACV	Aquecimento global; Acidificação; Eutrofização; Consumo de combustíveis fósseis;	Custo ciclo de vida;	Ocupação espaços; Danos a saúde; Emprego;
Vučijak et al. 2016	AHP VIKOR	Recuperação de matéria prima; Redução RSU; Emissões de poluentes;	Custo operação; Renda recicláveis;	Emprego; Aceitação pública; Legislação federal;

		Higiene;		
Milutinovic et al. 2016	Fuzzy / AHP	Emissão GEE;	Custos operacionais; Receitas;	Criação emprego; Aceitação social;

Foram identificados apenas os critérios de sustentabilidade (ambiental, econômico e social), por vezes os autores associam outros critérios como, por exemplo, administrativo, técnico, segurança, organizacional, entre outros, porém, o intuito era identificar apenas os que possuísem critérios em ambas às dimensões da sustentabilidade, explicitados pelos autores, ou seja, artigos que explicitavam apenas uma ou duas dimensões não foram selecionados, e artigos com 4 dimensões ou mais, foram identificados apenas os critérios das dimensões da sustentabilidade.

Os critérios econômicos mostraram-se mais objetivos concretos para mensuração, a preocupação com custos e receitas predominante no critério econômico.

Nas dimensões ambiental e social identificaram-se vários critérios de formas, escalas e unidades de medidas diferentes na sua forma de avaliação, o que torna difícil o processo de integração e comparação de dados. Verifica-se na dimensão ambiental a grande preocupação com os gases de efeito estufa como critério de avaliação, enquanto que para o social as preocupações mais recorrentes são a aceitação pública e a geração de empregos.

Com relação às metodologias, fez-se o levantamento dos métodos de avaliação explicitados e utilizados pelos autores como aqueles que possam avaliar direta ou indiretamente a tomada de decisão na gestão de resíduos sólidos, para os artigos que continham critérios de sustentabilidade. Foram verificadas 8 metodologias sendo constatado que *Analytic Hierarchy Process (AHP)* é a mais difundida pelos autores do portfólio bibliográfico.

## CONCLUSÃO

Os artigos do portfólio bibliográfico mostraram-se representativos, sendo possível identificar autores, artigos e periódicos mais relevantes na gestão de resíduos sólidos urbanos. Também foi possível identificar na literatura quais metodologias e indicadores veem sendo utilizados para auxiliar no processo de avaliação de desempenho da gestão sustentável de resíduos sólidos urbanos. Neste sentido o presente estudo alcança os objetivos propostos e ainda pode contribuir academicamente para construção de conhecimento e evidenciar tendências de pesquisas, verificadas nesse trabalho pelos critérios de sustentabilidade e metodologias de avaliação e de apoio à tomada de decisão.

Vários artigos no portfólio bibliográfico avaliam aspectos particulares ou apenas dois dos critérios de sustentabilidade, porém obteve-se a identificação de nove artigos que explicitam a utilização dos critérios ambiental, econômico e social, sendo aqui uma evidência da preocupação científica com as três dimensões. Logo, é notória a complexidade para definição de índices ou parâmetros de avaliação principalmente nas dimensões social e ambiental. De modo geral é visível nos artigos a validação e/ou fundamentação desses critérios por especialistas, pela literatura e por *stakeholders*.

Verifica-se também que as pesquisas são auxiliadas principalmente por metodologias de análises multicritério e multi-objetivo, indicando as tendências de como estão sendo moldados os modelos de avaliação de desempenho de apoio a decisão na gestão sustentável de resíduos sólidos urbanos.

O presente trabalho é apenas um passo inicial para uma pesquisa maior de avaliação da gestão integrada de resíduos sólidos urbanos a partir de critérios de sustentabilidade. Neste sentido sugere-se como propostas de futuros trabalhos a análise sistêmica para comparação das formas e modelos de gerenciamento de resíduos para estabelecer um padrão de sistemas bem sucedidos, realizar pesquisa nas referências dos portfólios bibliográficos para identificação de critérios, parâmetros, índices, modelos e ferramentas que auxiliam na avaliação do tema pesquisado, a reprodução da pesquisa e organização de um novo portfólio bibliográfico mais abrangente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Blonkoski, P.R.; Antonelli, R.A.; Bortoluzzi, S.C. **Contabilidade Gerencial: Análise bibliométrica e sistêmica da literatura internacional**. Pretexto. 2017, Belo Horizonte, v.18, N 1, p. 80-99, ISSN 1984-6983 (Rev. Online).
2. Bortoluzzi, S.C.; Ensslin, L.; Ensslin, S.R. **Avaliação de Desempenho dos Aspectos Tangíveis e Intangíveis da Área de Mercado: estudo de caso em uma média empresa industrial**. Rev. Bras. Gest. Neg., São Paulo, v. 12, n. 37, p. 425-446, out./dez. 2010.
3. Dutra, A.; Ripoll-Feliu, V. M.; Filloll, A. G.; Ensslin, S. R.; Ensslin, L. **The construction of knowledge from the scientific literature about the theme seaport performance evaluation**. International Journal of Productivity and Performance Management, Vol. 64 Iss 2 pp. 243 – 269, 2015.
4. Ensslin, L; Ensslin, S.R.; Dutra, A.; Nunes, N. A.; Reis, C., **BPM governance: a literature analysis of performance evaluation**. Business Process Management Journal, Vol. 23 Iss 1 pp. 71 – 86, 2017.
5. Ensslin, L; Ensslin, S.R.; Lacerda, R.T. O. & Tasca, J. E. **Processo de Análise Bibliométrica**. Processo técnico com patente de registro pendente junto ao INPI. Brasil, 2010.
6. Fernandes, M.L.; Rodrigues, A.P.; Soares, A.C. Gouvea da Costa, S.; Bortoluzzi, S.C.; Pinheiro de Lima, E.; **Critérios para avaliação de desempenho na gestão municipal de resíduos sólidos**. 6th International Workshop – Advances in Cleaner Production – Academic Work, São Paulo – Brasil, 2017.
7. Khalili, N. R. and S. Duecker. **Application of multi-criteria decision analysis in design of sustainable environmental management system framework**. JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION 47: 188-198, 2013.
8. Kaufman, S. M., et al. **A screening life cycle metric to benchmark the environmental sustainability of waste management systems**. Environmental Science and Technology 44(15): 5949-5955, 2010.
9. Lacerda, R.T.O., Ensslin, L.; Ensslin, S.R. **Research opportunities in strategic management field: a performance measurement approach**. Int. J. Business Performance Management, Vol. 15, No. 2, pp.158–174, 2014.
10. Milutinovic, B., et al. (2016). **Sustainability assessment and comparison of waste management systems: The Cities of Sofia and Niš case studies**. Waste Management and Research 34(9): 896-904.
11. Rodrigues, A. P.; Fernandes, M. L.; Rodrigues, M. F. F.; Bortoluzzi, S. C.; Gouvea da Costa, S.; Pinheiro de Lima, E. **Developing criteria for performance assessment in municipal solid waste management**. Journal of Cleaner Production. Vol.186 p. 784 – 757, 2018.
12. Santos, A. I.; Schenatto, F.J.A.; Oliveira, G. A. **Metodologia PROKNOW-C para construir o conhecimento acerca de previsão de demanda utilizando séries temporais**. VII Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção. Ponta Grossa, PR, Brasil, 2017.
13. Vilela, L.O.; **Aplicação do PROKNOW-C para seleção de um portfólio bibliográfico e análise bibliométrica sobre avaliação de desempenho da gestão do conhecimento**. Rev. Gest. Ind., v. 8, n. 1, p. 76-92, 2012.
14. Vucijak, B., et al. **Multicriteria decision making in selecting best solid waste management scenario: a municipal case study from Bosnia and Herzegovina**. JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION 130: 166-174. 2016.

## APÊNDICE 2

FICHA DO ARTIGO	
Artigo 2	Diagnostic model in sustainable and innovative operations for municipal solid waste management
Autores	Douglas Alcindo da Roza
	Edson Pinheiro de Lima
	Sergio Eduardo Gouvea da Costa
Nome do Evento	2ndWorld Symposium on Sustainability Science and Research
Livro	International Business, Trade and Institutional Sustainability (pp. 221 – 243)
DOI:	10.1007/978-3-030-26759-9_13
<i>Status</i>	Publicado

## **Diagnostic model in sustainable and innovative operations for municipal solid waste management**

Douglas Alcindo da Roza  
Industrial and Systems Engineering  
Federal University of Technology - Parana - Brazil  
douglas.alcindo@hotmail.com

Prof. Edson Pinheiro de Lima Ph.D  
Industrial and Systems Engineering  
Federal University of Technology - Parana - Brazil  
Pontifical Catholic University of Parana – Brazil  
pinheiro@utfpr.edu.br

Prof. Sergio E. Gouvea da Costa Ph.D  
Industrial and Systems Engineering  
Federal University of Technology - Parana - Brazil  
Pontifical Catholic University of Parana - Brazil  
gouvea@utfpr.edu.br

**Abstract** : Studies and assessments of municipal solid waste management systems are of fundamental importance to public authorities, on public management strategies and systems should be based on the design of integrated approaches to ensure sustainability requirements in order to mitigate negative impacts on the environment, the economy and society. Innovative organizational and technological systems of waste management are studied as alternative solutions to the inefficiency of conventional systems, so they can be designed in order to guarantee quality and efficiency as it is necessary to understand these new technologies by the society. Therefore, appropriate systems for measuring sustainability performance and decision support should be based on criteria and aspects relevant to the implementation of these new innovative and sustainable waste management concepts. The present study aims to propose a model of analysis and diagnosis in sustainable and innovative operations in the management of solid urban waste, to support the elaboration of aspects and criteria relevant to the construction of scenarios and projection of future waste management systems. The model is constructed with a systemic review of literature and interviews with specialists in conventional waste management. The results indicate a great concern with financial factors and population awareness to obtain good results in management systems and technologies.

**Keywords** : Solid waste management, Innovative and sustainable operations, Systematic literature review.



## INTRODUCTION

The 'National Solid Waste Policy' aims to eradicate landfills, to implement municipal solid waste plans, as well as to implement selective collection and composting systems (BRASIL, Law 12305, 2010).

For 'National Solid Waste Policy', waste management should consider the following order of priority: not generation of waste ('zero' waste), reduction, reuse, recycling, waste treatment and adequate environmentally final disposition of wastes, although for municipal administrations it is not prohibited final disposal in landfills, but not recommended.

Many municipalities do not comply with the legislation, and as observed by Deus et al. (2016), small municipalities that do not dispose of their waste in landfills compatible with regulatory standards can seek inter-municipal cooperation and adopt integrated waste management programs.

But other less complex alternatives can improve conventional systems, in their study Hlatka et al. (2018) proposes alternatives to increase the effectiveness of selective collection and reduce the cost of waste management in Pyšely, for this is used partial results of the analysis of the current state of the system and the classification of municipal waste, as well as the results of a research by questionnaire with the residents of the municipality. Based on these analyzes, alternatives were proposed that were evaluated using multicriteria decision-making methods.

These alternatives become even more interesting on the perspective of innovation and sustainability to improve efficiency in the use of municipal resources. In order to improve the quality of life through efficiency, smart cities are being studied and planned based on the integration of information technologies in areas of urban planning and management of municipal resources and services.

Inefficient infrastructures and services in today's cities justify the need for sustainable and innovative intelligent systems. However, because it is a recent issue, there are difficulties in measuring and defining criteria for the implementation of intelligent management systems that are sometimes unknown until even by experienced and specialized professionals.

Although the potential of innovative organizational technologies and systems seems to be evident, designing these complex systems becomes difficult task. In this sense Topaloglu et al. (2018) suggests a multi-criteria methodology to evaluate and classify alternative waste collection systems in an intelligent city environment, for which design concepts are based on emerging information and communication technologies (ICTs), the author uses the Fuzzy

method -TOPSIS type 2 in a real case study in Eskisehir in Turkey and the evaluation criteria are determined considering the local needs of the municipal experts.

However, management systems are not enough, for Da Silva (2018) there must be a public policy oriented towards education, awareness of the importance of recycling and separation of waste, resulting in reductions in the cost of disposal and better development place with structuring of the value chain for socioeconomic benefit in the creation of work and income, environmental gains through the reduction of the extraction of new raw materials, cultural gains with greater perception and collective action in the community and political gains related to the collective efficiency due to the social action.

The present work aims to propose a model to analyze sustainable and innovative operations in solid waste management. The model consists of identifying in the literature and with the opinion of experts, criteria and characteristics for the implementation of innovative and technological systems in waste management.

## **THEORETICAL BACKGROUND**

With urban and population growth, the theme sustainable development is present in the management of operations in several segments of the economy. In the National Solid Waste Policy on the principles of polluter pays and shared responsibility, as well as in the concepts of reduction, reuse and recycling, among other concepts described in the standard, the concern with sustainability is characterized.

Sustainability in operations is a necessity in waste management activities due to the complexity and quantity of waste produced, so alternative systems and technologies for waste management are researched as a way of solving or improving conventional systems (Misra et al. 2018; Wen et al., 2017; Yerraboina, 2018).

New technologies driven by the concepts of smart cities and IoT stimulate innovation and new business models based on "Product Service System" in waste management and other sectors of the economy (Diaz-Diaz et al., 2017; Elia, et al. 2015, 2018). However, innovation can also be social, creating economic, environmental and social value through "Sustainable Products Services Systems" (Gelbmann & Hammerl, 2015).

In view of the above, the present work begins with a systemic review of the literature based on the aforementioned concepts of sustainable and innovative operations in solid waste management.

## RESEARCH DESIGN

The present research deals with the organization of a conceptual model to analyze scenarios of sustainable and innovative operations in the management of urban solid waste, through literature review, interviews and data analysis. It has a descriptive and explanatory character, having a qualitative approach for structuring the model.

The work starts from a systemic review of the literature, with the objective of organizing a Bibliographic Portfolio, using the process and procedures proposed by Ensslin et al. (2010): Knowledge Development Process-Constructivist (ProKnow-C), which is defined by sequence of steps, which begins with the definition of research axes and keywords (search terms), until the organization of the Bibliographic Portfolio, as could be seen in Figure 1.

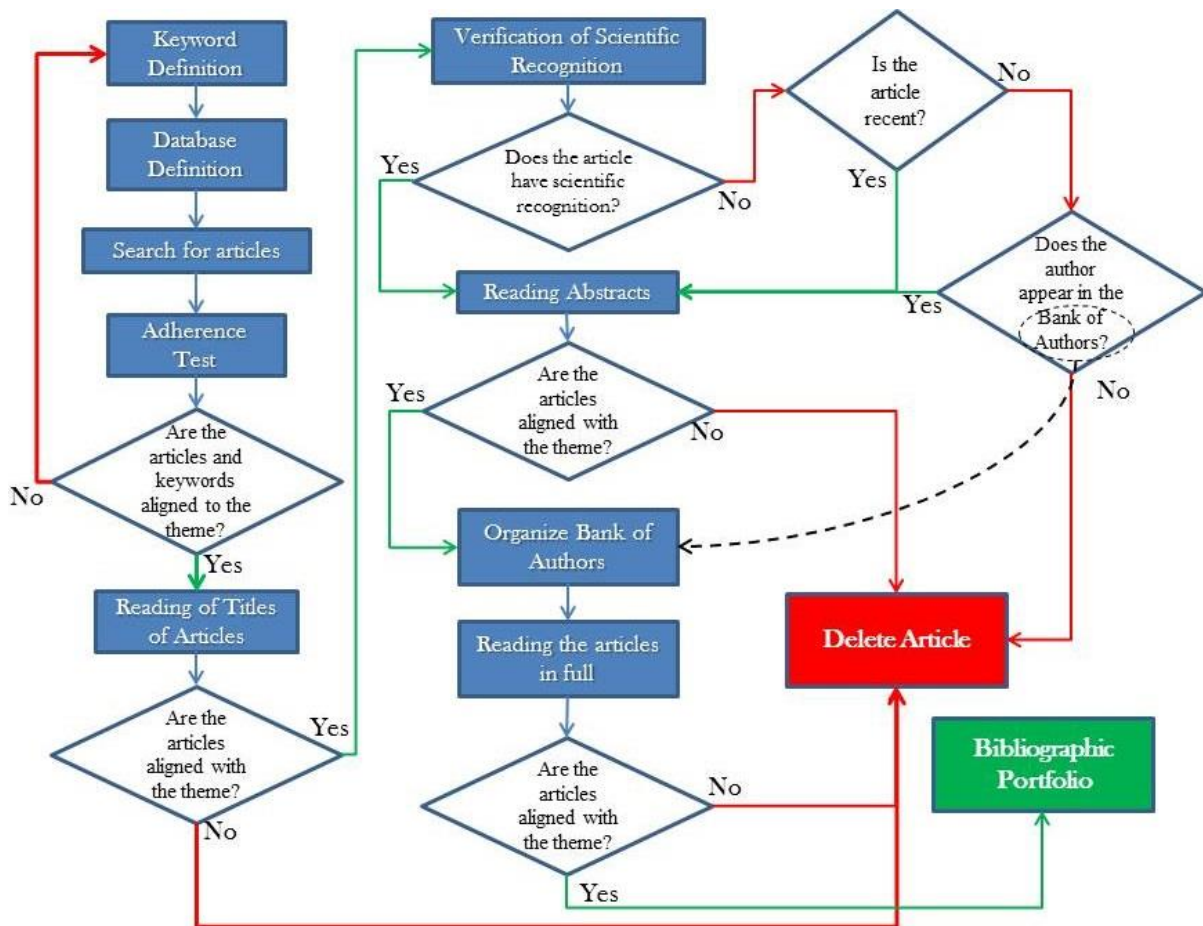


Figure 1: Summary of ProKnow-C steps.

Source: Elaborated by authors.

When performing a systemic analysis of the content of the papers that compose the bibliographical Portfolio, assessment indicators are identified in case studies reports for

different contexts, as well as sustainable and innovative management practices for solid waste management.

The results obtained in the literature review are presented to specialists in the conventional national waste management system, followed by a semi-structured interview with the objective of identifying the barriers and impacts related to the technologies of sustainable and innovative organizational systems for the collection of urban solid waste, and criteria for the implementation of innovative and technological systems.

The interview was divided in two stages, the first part carried out in a group with a sequence of dialogues, following the script of questions:

- I. What is the knowledge of the interviewees about the innovative characteristics presented and their opinion and the application potential.  
*Opening for dialogue between the interviewees.*
  
- II. Intelligent waste collection systems can be considered as a solution for solid waste management. Because?  
*Opening for dialogue among the interviewees.*
  
- III. Could other innovative forms of management also be applied as a solution?  
*Opening for dialogue among the interviewees.*
  
- IV. What are the main difficulties in the implementation of smart and innovative technologies in municipal waste management and possibly which positive and negative impacts would affect the population and the municipalities.  
*Opening for dialogue among the interviewees.*

In the second stage, carried out individually, it is requested to indicate, through a questionnaire, which criteria are relevant for the implementation and operation of innovative and sustainable solid waste management systems. The questionnaire is observed in table 1.

Table 1: Waste management criteria

	Public acceptance		Quality of waste
	Political support		Amount of waste
	Infrastructure Capacity		Revenue
	Innovation		Power recovery
	Products Lifecycle		Recovery of Raw Material

	Public awareness		Reduction of wastes in landfills
	Creation of new jobs		Income from recyclables sold
	Cost with equipment		Environmental Risks / Impacts
	Qualified staff		Noise
	Maintenance cost		Safety and Hygiene
	Transportation costs		System Sustainability
	Investment cost		Size of the population to be served
	Operational cost		Discard rate
	Unemployment		Recycling rate
	Availability of collection points		Collection time
	System efficiency		Type of waste to be collected
	Atmospheric emissions		Vehicle traffic
	Aesthetics		Waste treatment
	Odor		Operational viability

Source: Elaborated by authors.

The criteria showed in Table 1 are organized based on the results of the first bibliographic portfolio of literature review.

## RESULTS AND DISCUSSIONS

In this section the results of the study are described in three stages. The first one consists of a systematic review of literature in articles with content analyzes on the evaluation criteria and characteristics related to the work theme. In the second stage the interview with specialists and discussion of the characteristics sustainable and innovative. In the last step the relevant criteria are selected according to the specialists for the implementation and management of these systems.

### SYSTEMIC REVIEW OF LITERATURE

Once the keywords/search terms were defined, we selected 23 search terms divided into 3 research axes as presented in Table 2. The research was carried out in the Web of Science and Scopus databases. Combinations of the search terms between the axes were performed. The researches were limited to 10 years and just journal articles, the resulting references were inserted in Mendeley software, where duplicate and / or repeated references were excluded, resulting in a total of 21,040 references. The process continued with the analysis of the titles, resulting in 503 works aligned to the research theme.

Table 2: Research axes and terms used in the research.

<b>Axis</b>	<b>Search terms</b>
Diagnostic	Diagn*; Audit*; Evaluat*; Analy*; Perform*; Assess*; Manag*; Means*.
Sustainable operations	Sustainab*; "Triple bottom line"; "Value creation"; "Business model"; "Smart Cit*"; IoT; "Internet of things"; Recy*; Upcyc*; Reduc*; Reus*.
Waste management	"waste management"; "Solid waste*"; "Municipal waste*"; "Zero waste*"

Source: Elaborated by authors.

The scientific recognition is accomplished through an analysis of citations in Google Scholar, the 228 papers with more than 5 citations passed through an analysis of the abstracts and 88 were considered aligned to the theme of the research, the authors of these selected papers formed a bank of authors with 254 authors.

The 275 papers with less than 5 citations passed through a process called reanalysis, which consists in verifying if the paper is recent (less than 2 years of publication), or if it has author (s) in the bank of 254 authors. Given one of these requirements, the work is read by the abstract and can be selected or not. In this reanalysis process, 22 references were selected.

The sum of the selected references resulted in 110 works that through the integral reading allowed organizing 2 bibliographical portfolios.

The first portfolio consists of 22 papers that assess solid waste management in different contexts, the authors and the identified criteria's can be observed in table 3.



(Pires et al., 2011)									X	X					X			X			X	X	X							
(Rigamonti et al., 2016)									X									X	X											
(Rodrigues et al., 2018)									X	X											X									X
(Sarraf et al., 2017)																										X		X		
(Simões et al., 2012)									X							X														
(Stefanović et al., 2016)	X					X			X	X		X			X	X														
(Topaloglu et al., 2018)				X							X	X														X				X
(Vucijak; Silajd, 2015)	X					X			X										X	X	X			X						

Source: Elaborated by authors.



Because of the different contexts for the different indicators, it was chosen to group similar criteria, for example, Jovanovic et al. (2016) uses particulate materials, emission of gases (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> and N<sub>2</sub>O) and Stefanović et al. (2016) used and classifies emissions of greenhouse gases (CO<sub>2</sub>) and emissions of acid gases (NO<sub>x</sub> and SO<sub>2</sub>) as environmental indicators. In the present work all are considered in the criterion atmospheric emissions.

It is worth mentioning that the number of indicators varies according to the paper and its context. Pires et al. (2011) uses the AHP and TOPSIS methods to classify 18 alternatives for improving the sustainability of solid waste management in the Setubal region of Portugal. The criteria were divided into technical, environmental, economic and social aspects, all of which used 14 indicators. Unlike Khalili & Duecker (2013) who used the ELECTRE III methodology to select the best yeast waste treatment project, so the indicators used are the cost to the company, the mass of waste and the potential for job creation.

The second set consists of 13 references, all selected to identify characteristics of sustainable operations or innovative potential in solid waste management systems, Table 4 lists the references of the second bibliographic portfolio and its characteristics.

Table 4: Authors and characteristics identified in literature.

References	Features
(Da Silva, 2018)	Circular economy as a new way of thinking about the current issues of urban planning and management, creating opportunities.
(Dahlen et al., 2010)	Scheme of payments of collection rate of waste <i>PAYT</i> based on weight and/or volume.
(Diaz-Diaz et al., 2017)	Intelligent city business models, based on a benchmarking of eight urban services rendered in the city of Santander, with waste management being highlighted by the forecast of a 20% reduction in the cost of providing annual service.
(Elia et al., 2015)	It proposes a holistic structure to design and manage <i>PAYT</i> systems applied in municipal Solid Waste Management services through intelligent technological solutions.
(Elia et al., 2018)	Dynamic collection schemes for Waste Electrical and Electronic Equipment, through IoT technology.
(Gelbmann; Hammerl, 2015)	An appropriate business model for the establishment of new (sustainable) product and service systems (SPSS) for re-use with socially oriented social integration labor enterprises (ECO-WISEs).
(Manni; Runhaar, 2014)	Pay as you throw waste collection fee scheme as an incentive for waste deduction.

(Misra et al., (2018)	It features an intelligent waste collection system based on an IoT bin that measures the level of material in the bins and the presence of gases and sends this information to a cloud server for storage and processing over the Internet.
(Rada et al., 2013)	Optimization of the selective collection with the implementation of a system based on Geographic Information Systems (Web-GIS).
(Rebehy et al., 2017)	Social innovation proposed through a sustainable and inclusive business model, with intensive use of information technology and logistics.
(Tseng; Bui, 2017)	Business management through eco-innovation, and industrial symbiosis to achieve win-win status in supply chain networks.
(Wen et al., 2017)	It studies the implementation and evaluation of a sensor-based Internet-of-Things (IoT) network technology to improve waste management of restaurant food in the city of Suzhou, China.
(Yerraboina et al., 2018)	Prototype of IoT trash bin called "Smart Garbage Bin".

Source: Elaborated by authors.

In the papers selected, we sought to identify operations and characteristics of sustainable and at the same time innovative management in the solid waste management, in this sense, for Tseng and Bui (2017), companies gain competitive advantages in business management through eco-innovation, and industrial symbiosis contributes to achieving win-win status in supply chain networks, the author in his research identifies the main attributes of eco-innovation to improve the performance of industrial symbiosis.

In addition to eco-efficiency characteristics for waste management, social innovation can be observed in Gelbmann and Hammerl (2015) and Rebehy et al. (2017) papers.

In Rebehy et al. (2017) proposes an inclusive and decentralized institutional arrangement of selective collection with logistic technology and organization of collectors in micro cooperative or Points of Temporal Accumulation. According to the model, collectors will use electric transportation vehicles equipped with GPS equipment to follow predetermined collection routes in addition to an application, allowing communication with the residents of the route, offering them specific calendars and bags for waste disposal. Already Gelbmann and Hammerl (2015), study the business model of sustainable systems of products and services for reuse, through socially oriented social integration companies, called ECO-WISES.

Systems with IoT technologies were the most observed results in the portfolio, (Diaz-Diaz et al., 2017), (Elia et al., 2015, 2018), (Misra et al., 2018), (Wen et al., 2017) and (Yerraboina et al., 2018).

Thinking about smart cities, (Yerraboina et al., 2018) and (Misra et al., 2018) present in their work with IoT technology, the first one develops a prototype named "Smart Garbage Bin" with experimental studies of operation, but without large scale applications, the second presents a system that measures the level of waste and the presence of foul gases, sending the information to a server over the internet.

Also related to intelligent cities, (Diaz-Diaz et al., 2017) addresses the city of Santander in Spain and eight urban services provided with IoT technology, according to the author the city is developing a service of collecting recyclable waste with sensors, which monitors containers and provides real-time information on location, characteristics and levels of filling of the dumps, allowing planning of routes and the time involved, still has a system that allows citizens to know the level of disposal points, routes and schedules, as well as report any incident.

Aiming to achieve improvements in inspection and decrease generation and waste food waste, (Wen et al., 2017) researches the implementation and assessment of a system to improve the management of organic food waste from restaurants in the city of Suzhou in China, the IoT-based system encompasses the generation, collection, transportation and final disposal and uses in addition sensors to measure the level of waste, RFID tags to record information such as name, address, company billing, weight, capacity and number of the collection boxes, information is processed automatically by a reader installed in the truck collection and sent in real time to the on-board driver of the vehicle, together with the collection time and the weight of the collected waste.

Another form of application of innovative technologies is observed by (Elia et al., 2015), which aims to propose a holistic structure to design and manage PAYT (Pay as you Throw) systems applied in municipal solid waste management services with organizational and technological solutions, with emphasis on the application of IoT technologies to measure quantities of volume or weight identification of users through different technologies such as bar code, QR code and radiofrequency technologies RFID, which according to the author, although more expensive, guarantees more reliability in the identification of users and a faster read time.

IoT technology is also studied by (Elia et al., 2018) for analyzing schemes of dynamic collection of waste electrical and electronic equipment, through data obtained in real time, collected through these technologies, which makes it possible to collect the waste as demand demands. In the same rationale for the use of technology in waste collection, four case studies are presented by (Rada et al., 2013), and are still discussed in the research aspects related to

the implementation of systems based on Web-GIS (Geographic Information System), using GPS, and RFID tag technologies at the collection points for identification of users, as well as vehicle monitoring collectors by a control room with cartographic database.

In addition to the technologies, another interesting feature found in Portfolio papers is related to the polluter pays principle named in the papers Pay as you throw or PAYT, observed in (Dahlen et al., 2010), (Elia et al., 2015) and (Manni & Runhaar, 2014).

PAYT systems can be practiced with the aim of guaranteeing a fairer rate to the user according to the amount of waste produced, as well as encouraging the reduction of waste generation and segregation at source. In this sense, (Dahlen et al., 2010), makes a study on the payment system by weight and volume. According to Manni and Runhaar (2014), the literature indicates that these financial incentive schemes are effective but are criticized for raising costs for society, for the author, PAYT systems have a great potential to reduce management costs and the amount generated municipal solid waste.

Like PAYT systems, the concepts of circular economy also present conflicts of interest, (Da Silva, 2018) analyzes different scenarios for the city of Curitiba from *trade-offs* between investment in new landfills and policies to increase the recycling rate. For the author to invest in a public policy of environmental education is important, but it is not enough so sectoral policies and innovation are necessary, associated with environmental policies, so the circular economy can turn the waste problem into an opportunity for municipalities.

## INTERVIEWS WITH SPECIALISTS

Three specialists were selected, all of them graduated in Environmental Engineering, being a master's in civil engineering and a professor in the area of Solid Waste Management and the other two master's in environmental engineering, with experience in municipal waste management.

In the presence of the three specialists, a presentation of the objectives of the work, the methodologies used, and the results of the systemic literature review were presented, presenting the concepts of each innovative characteristic observed in the papers of the second portfolio (Table 3).

After the presentation, the interviewees were asked questions and from the answers, dialogues were held until a consensus of opinions was obtained. As a form of orientation for the interviewer the following questions were asked to start the dialogues. (i) The first question was related to the interviewees' knowledge about the innovative characteristics presented and

their opinion and the application potential. (ii) Intelligent waste collection systems were asked as a solution for solid waste management. (iii) Whether other innovative forms of management could also be applied as a solution. (iv) And what are the main difficulties in implementing smart and innovative technologies in municipal waste management and possibly which positive and negative impacts would affect the population and the municipalities.

On the first question, only one of the respondents said that they already had knowledge about the industrial symbiosis, but they all agreed and affirmed a great potential of applying the innovative forms presented, especially the intelligent collection systems using IoT dumps and payment of rates according to generation / provision waste.

For the second question, about intelligent waste collection systems, the answers was unanimous, as a solution for waste management. The interviewees also cited the association of smart technologies with collection or tax exemption rates to encourage selective collection and separation at the source of waste generation. One of the interviewees said that with the application of a rate for the amount of waste collected, would reduce the generation of waste, she said that the result would be better in the application of fines for those who do not make the selection of materials or higher rates for those who generate more waste.

Regarding the third question on other innovative forms of management as a solution, one of the interviewees spoke about tools of Geographic Information Systems, which through the mapping of generation points and waste quantities, it would be possible to map priority points in the collection and better route. The interviewee said that "many municipalities do not take into account the amount of waste generated, nor priority areas to trace the route," he also cited a case of a city hall, where a worker at the beginning of the waste collection implementation defined a route and taught the route to those who succeeded and so on over the years. The interviewee said that if there was a route planning would reduce fuel costs and the number of displacements of the trucks.

For the fourth question regarding the difficulties to implement innovative technologies, the answers formed, mainly in relation to the difficulty of making it economically feasible and the lack of awareness of the users. However, they were also cited: the financial stimulus, the inspection, the lack of information. And as for the impacts, they would possibly positively affect the increase of awareness and the interest of the population for the correct disposal and the generation or reallocation of the jobs. Already negatively would increase residues in irregular areas and inappropriate for the disposal, due to not educated citizens.

## SELECTION OF INDICATORS BY SPECIALISTS

After the interview and dialogue on innovations in waste management, the criteria and indicators identified in the literature were presented (see Table 3), it was requested that experts select relevant criteria for the implementation and operation of sustainable and innovative systems waste management. Each of the specialists received a spreadsheet to mark the criteria (according table 1), in this step was done individually and without consultation among the interviewees. The eleven criteria selected as shown in Table 5 are observed in the literature and considered relevant by both experts.

Table 5: Indicators observed in the literature and selected by the specialists

<b>Criteria</b>	
Public acceptance	Amount of waste collected
Public awareness	Reduction of wastes in landfills
Cost with equipment	Income from recyclables sold
Investment cost	Environmental Risks / Impacts
Operational cost	Safety and Hygiene
System efficiency	

Source: Elaborated by authors.

During the interview, experts were explained as the main difficulties for the implantation of sustainable and innovative technologies, population awareness and economic viability, in this sense, it is verified in the choice of the criteria a confirmation of the opinions expressed in the interview, being selected the costs with equipment, investment and operational costs in addition to recycled income sold and the selection of public awareness and acceptance criteria.

According to the selected criteria, one can also deduce a concern with the quality of the service to be provided, by choosing the system efficiency criteria, the amount of waste collected and the reduction of recyclables in landfills, as well as a concern with possible damages to people and environment, as evidenced by the criteria of environmental risks and impacts, and safety and hygiene.

Sometimes it becomes difficult to propose projects for the implementation of waste management, so the innovative and sustainable characteristics resulting from the literature can support the construction of possible scenarios, which in turn can be evaluated by multicriteria

methods of decision support taking into account the criteria identified in the literature and selected by the experts.

## **CONCLUSION**

The present work aims to analyze sustainable and innovative operations in waste management. The results present criteria that can be considered in the analysis and implantation of these systems.

The interview shows the lack of knowledge of professionals specialized in the conventional management of municipal solid waste in relation to new technologies and sustainable alternative systems of waste management.

It is verified as a limiting factor to the work the interpretation of the indicators by the specialists, during the interviews were not presented concepts of the criteria for different contexts identified in the literature, in this sense, the experts selected the criteria based on their experiences and empirical knowledge.

In future works, with the identification of the sustainable and innovative characteristics of waste management and selection of indicators by the experts, it is possible to construct scenarios oriented to answer the concerns of the expert professionals, and through multicriteria decision support methodologies such as the TOPSIS methodology, best practices for a specific context.

## REFERENCES

- Arıkan, E., Şimşit-Kalender, Z. T., & Vayvay, Ö. (2017). Solid waste disposal methodology selection using multi-criteria decision making methods and an application in Turkey. *Journal of Cleaner Production*, *142*, 403–412. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.054>
- Banar, M., Özkan, A., & Kulaç, A. (2010). Choosing a recycling system using ANP and ELECTRE III techniques. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, *34*(3), 145–154. <https://doi.org/10.3906/muh-0906-47>
- Coban, A., Ertis, I. F., & Cavdaroglu, N. A. (2018). Municipal solid waste management via multi-criteria decision making methods: A case study in Istanbul, Turkey. *Journal of Cleaner Production*, *180*, 159–167. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.130>
- Da Silva, C. L. (2018). Proposal of a dynamic model to evaluate public policies for the circular economy: Scenarios applied to the municipality of Curitiba. *Waste Management*, *78*, 456–466. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.06.007>
- Dahlen, L., Lagerkvist, A., Dahlén, L., & Lagerkvist, A. (2010). Pay as you throw Strengths and weaknesses of weight-based billing in household waste collection systems in Sweden. *Waste Management*, *30*(1), 23–31. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.09.022>
- Deus, R. M., Battistelle, R. A. G., & Silva, G. H. R. (2016). Scenario evaluation for the management of household solid waste in small Brazilian municipalities. *Clean Technologies and Environmental Policy*, *19*(1), 205–214. <https://doi.org/10.1007/s10098-016-1205-0>
- Diaz-Diaz, R., Munoz, L., Perez-Gonzalez, D., Díaz-Díaz, R., Muñoz, L., Pérez-González, D., ... Perez-Gonzalez, D. (2017). Business model analysis of public services operating in the smart city ecosystem: The case of SmartSantander. *FUTURE GENERATION COMPUTER SYSTEMS-THE INTERNATIONAL JOURNAL OF ESCIENCE*, *76*, 198–214. <https://doi.org/10.1016/j.future.2017.01.032>
- Elia, V., Gnoni, M. G., & Tornese, F. (2015). Designing Pay-As-You-Throw schemes in municipal waste management services: A holistic approach. *Waste Management*, *44*, 188–195. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.07.040>
- Elia, V., Gnoni, M. G., & Tornese, F. (2018). Improving logistic efficiency of WEEE collection through dynamic scheduling using simulation modeling. *Waste Management*, *72*, 78–86. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.11.016>
- Gelbmann, U., & Hammerl, B. (2015). Integrative re-use systems as innovative business models for devising sustainable product-service-systems. *Journal of Cleaner Production*, *97*, 50–60. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.104>
- Herva, M., & Roca, E. (2013). Ranking municipal solid waste treatment alternatives based on ecological footprint and multi-criteria analysis. *Ecological Indicators*, *25*, 77–84. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.09.005>
- Hlatka, M., Stopka, O., & Chovancova, M. (2018). The Solution of the Sorted Waste Collection Using the Methods of Multi-criteria Decision-making, 164–170.
- Huang, Y.-T., Pan, T.-C., & Kao, J.-J. (2011). Performance assessment for municipal solid waste collection in Taiwan. *JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT*, *92*(4), 1277–1283. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.12.002>
- Jovanovic, S., Savic, S., Jovicic, N., Boskovic, G., & Djordjevic, Z. (2016). Using multi-criteria decision making for selection of the optimal strategy for municipal solid waste management. *Waste Management and Research*, *34*(9), 884–895. <https://doi.org/10.1177/0734242X16654753>
- Khalili, N. R., & Duecker, S. (2013). Application of multi-criteria decision analysis in design



- of sustainable environmental management system framework. *Journal of Cleaner Production*, 47, 188–198. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.10.044>
- Lolli, F., Ishizaka, A., Gamberini, R., Rimini, B., Ferrari, A. M., Marinelli, S., & Savazza, R. (2016). Waste treatment: an environmental, economic and social analysis with a new group fuzzy PROMETHEE approach. *CLEAN TECHNOLOGIES AND ENVIRONMENTAL POLICY*, 18(5, SI), 1317–1332. <https://doi.org/10.1007/s10098-015-1087-6>
- Makan, A., Malamis, D., Assobhei, O., Loizidou, M., & Mountadar, M. (2013). Multi-criteria decision aid approach for the selection of the best compromise management scheme for the treatment of municipal solid waste in Morocco. *International Journal of Environment and Waste Management*, 12(3), 300–317. <https://doi.org/10.1504/IJEW.2013.056197>
- Manni, L. A., & Runhaar, H. A. C. (2014). The social efficiency of pay-as-you-throw schemes for municipal solid waste reduction: A cost-benefit analysis of four financial incentive schemes applied in Switzerland. *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*, 16(1). <https://doi.org/10.1142/S146433321450001X>
- Milutinović, B., Stefanović, G., Dassisti, M., Marković, D., & Vučković, G. (2014). Multi-criteria analysis as a tool for sustainability assessment of a waste management model. *Energy*, 74(C), 190–201. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.05.056>
- Milutinovic, B., Stefanovic, G., Kyoseva, V., Yordanova, D., & Dombalov, I. (2016). Sustainability assessment and comparison of waste management systems: The Cities of Sofia and Niš case studies. *Waste Management and Research*, 34(9), 896–904. <https://doi.org/10.1177/0734242X16654755>
- Mir, M. A., Ghazvinei, P. T., Sulaiman, N. M. N., Basri, N. E. A., Saheri, S., Mahmood, N. Z., ... Aghamohammadi, N. (2016). Application of TOPSIS and VIKOR improved versions in a multi criteria decision analysis to develop an optimized municipal solid waste management model. *JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT*, 166, 109–115. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.09.028>
- Misra, D., Das, G., Chakraborty, T., & Das, D. (2018). An IoT-based waste management system monitored by cloud. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 20(3), 1574–1582. <https://doi.org/10.1007/s10163-018-0720-y>
- Pires, A., Chang, N.-B., & Martinho, G. (2011). An AHP-based fuzzy interval TOPSIS assessment for sustainable expansion of the solid waste management system in Setúbal Peninsula, Portugal. *Resources, Conservation and Recycling*, 56(1), 7–21. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.08.004>
- Pongeluppe Wadhy Rebehy, P. C., Costa, A. L., Campello, C. A. G. B. C. A. G. B., Espinoza, D. de F., Neto, M. J., Rebehy, P. C. P. W., ... Neto, M. J. (2017). Innovative social business of selective waste collection in Brazil: Cleaner production and poverty reduction. *JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION*, 154, 462–473. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.173>
- Rada, E. C., Ragazzi, M., & Fedrizzi, P. (2013). Web-GIS oriented systems viability for municipal solid waste selective collection optimization in developed and transient economies. *Waste Management*, 33(4), 785–792. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.01.002>
- Rigamonti, L., Sterpi, I., & Grosso, M. (2016). Integrated municipal waste management systems: An indicator to assess their environmental and economic sustainability. *Ecological Indicators*, 60, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.06.022>
- Rodrigues, A. P., Fernandes, M. L., Rodrigues, M. F. F., Bortoluzzi, S. C., da Costa, S. E., & de Lima, E. (2018). Developing criteria for performance assessment in municipal solid waste management. *Journal of Cleaner Production*, 186, 748–757. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.067>

- Sarra, A., Mazzocchitti, M., & Rapposelli, A. (2017). Evaluating joint environmental and cost performance in municipal waste management systems through data envelopment analysis: Scale effects and policy implications. *Ecological Indicators*, *73*, 756–771. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.10.035>
- Simões, P., Carvalho, P., & Marques, R. C. (2012). Performance assessment of refuse collection services using robust efficiency measures. *Resources, Conservation and Recycling*, *67*, 56–66. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.07.006>
- Stefanović, G., Milutinović, B., Vučićević, B., Denčić-Mihajlov, K., & Turanjanin, V. (2016). A comparison of the Analytic Hierarchy Process and the Analysis and Synthesis of Parameters under Information Deficiency method for assessing the sustainability of waste management scenarios. *Journal of Cleaner Production*, *130*, 155–165. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.050>
- Topaloglu, M., Yarkin, F., & Kaya, T. (2018). Solid waste collection system selection for smart cities based on a type-2 fuzzy multi-criteria decision technique. *Soft Computing*, *22*(15), 4879–4890. <https://doi.org/10.1007/s00500-018-3232-8>
- Tseng, M. L., & Bui, T. D. (2017). Identifying eco-innovation in industrial symbiosis under linguistic preferences: A novel hierarchical approach. *Journal of Cleaner Production*, *140*, 1376–1389. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.014>
- Vucijak, B., & Silajd, I. (2015). Multicriteria decision making in selecting best solid waste management scenario : a municipal case study from Bosnia and Herzegovina. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.030>
- Wen, Z., Hu, S., De Clercq, D., Beck, M. B., Zhang, H., Zhang, H., ... Liu, J. (2017). Design, implementation, and evaluation of an Internet of Things (IoT) network system for restaurant food waste management. *Waste Management*. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.11.054>
- Yerraboina, S., Kumar, N. M., Parimala, K. S., & Aruna Jyothi, N. (2018). Monitoring the smart garbage bin filling status: An iot application towards waste management. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, *9*(6), 373–381. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85049254292&partnerID=40&md5=ad40ccee9eda35018c4e3566a6ea3473>

## APÊNDICE 3

FICHA DO ARTIGO	
Artigo 3	Decision model for selecting advanced technologies for municipal solid waste management
Autores	Douglas Alcindo da Roza
	Guilherme Teixeira Aguiar
	Edson Pinheiro de Lima
	Sergio Eduardo Gouvea da Costa
	Gilson Oliveira Adamczuk
Nome do Evento	2ndWorld Symposium on Sustainability Science and Research
Livro	International Business, Trade and Institutional Sustainability (pp. 221 – 243)
DOI:	10.1007/978-3-030-26759-9_13
<i>Status</i>	Publicado

## **Decision model for selecting advanced technologies for municipal solid waste management**

Douglas Alcindo da Roza  
Industrial and Systems Engineering  
Federal University of Technology - Parana - Brazil  
douglas.alcindo@hotmail.com

Guilherme Teixeira Aguiar  
Industrial and Systems Engineering  
Federal University of Technology - Parana - Brazil  
guilhermea@alunos.utfpr.edu.br

Edson Pinheiro de Lima Ph.D  
Industrial and Systems Engineering  
Federal University of Technology - Parana - Brazil  
Pontifical Catholic University of Parana – Brazil  
pinheiro@utfpr.edu.br

Sergio E. Gouvea da Costa Ph.D  
Industrial and Systems Engineering  
Federal University of Technology - Parana - Brazil  
Pontifical Catholic University of Parana - Brazil  
gouvea@utfpr.edu.br

Gilson Adamczuk Oliveira Ph.D  
Industrial and Systems Engineering  
Federal University of Technology - Parana - Brazil  
gilson@utfpr.eu.br

*Abstract* : Implemented in 2010, the National Solid Waste Policy (PNRS) aims to prevent and reduce waste generation, the eradication of so-called "landfills", and to implement a municipal solid waste plans. Selective collection and recycling of waste can reduce the amount of waste destined to landfills, reduce the frequency of waste transportation and minimize overall disposal costs. However, the conventional approach currently practiced in Brazil is inefficient considering economic, social and environmental aspects. Thus, there is an urgent need to improve municipal solid waste management (MSWM) by proposing alternatives that covers product-service systems (PSS) and IoT smart trash dustbin. In short, this paper provides an assessment by multicriteria analysis if the implementation of scenarios using IoT smart trash can could be considered a sustainable operational strategy for municipal public administration. The methodological approach used criteria extracted from a systemic literature review and applied AHP and TOPSIS Fuzzy methods to achieve the best solution according to selected criteria, which is the main objective of this paper.

**Keywords:** Selective Waste Collection, Pronow-C, AHP, *Fuzzy*-TOPSIS

## INTRODUCTION

Implemented in 2010, Law No. 12,305, 2010, which deals with the National Solid Waste Policy (PNRS), aims to eradicate so-called "dumps", the preparation and implementation of Municipal Solid Waste Plans, even it is possible to verify the non-fulfillment of these objectives by the municipalities. Thinking about the circular economy Da Silva (2018) argues that investments in public policies of environmental education and sectoral and innovation policies are necessary to reorganize the chains, making a problem an opportunity for municipalities.

An alternative to selective waste collection is to transform the traditional service (static) approach into a Product-Service-System (PSS), where the service component (waste collection) is improved by a product component, that is, technological alternatives for monitoring waste, thus allowing the management of variable and dynamic waste streams (Elia V., 2018). Such technical options are part of a new way of thinking of productive systems, through smart cities. Díaz-Díaz R. et al. (2017) analyzed and compared business models in intelligent cities, their results highlighted that municipal services using smart technologies generally present a value proposition focused on service efficiency, which results in the reduction of environmental impacts in addition to lower costs.

In this sense, sustainability in operations is a necessity in waste management activities due to the complexity and quantity of waste produced, so alternative systems and technologies for waste management are being researched as a way to solve or improve conventional systems through the use for example, from dumpsters with sensors and Internet of Things (IoT) (Misra et al., 2018; Wen et al., 2017; Yerraboina, 2018).

However, the propositions are not only technological. Other alternatives are the payment systems for the amount of waste produced, either payment schemes by weight or by volume (Dahlen et al., 2010). These alternatives can be very efficient associated with the technologies of the residue can with RFID sensors Tags that can help in the charging by the measurement of the dimensions weight and volume, as well as assist in the inspection in the collection, transport and final destination (Wen et al., 2017).

Given the above, the primary objective of this work is to structure a model to evaluate the implementation of sustainable operations and innovative technologies in the MSWM. For this, a systematic review of the literature is carried out and through the opinion of specialists are selected criteria and better alternatives to the context of a municipality in the western region of state Brazilian of Santa Catarina.

## **THEORETICAL BACKGROUND**

The management of solid waste by municipalities is crucial for public health, for environmental protection, as well as for visual pollution. Thus, it is necessary to correctly manage all activities involving solid waste, from collection to final disposal (Al-Khatib et al. 2007). For solid a sustainable waste management (Hlatka et al. 2018) points out that the separation of residues is significantly influenced by the conditions of the households. (Topaloglu, Yarkin, & Kaya, 2018) stresses that waste management must be environmentally sound, economically viable and socially acceptable.

For (Coban, Ertis, & Cavdaroglu, 2018), solid waste management depends on the composition of waste produced by the population, strongly influenced by socioeconomic factors, seasons, and family size. Urban development with inefficient infrastructure and management, waste issues become increasingly complex, and authorities need effective tools to select appropriate technologies that meet the needs of local infrastructure. (Coban et al., 2018), states that multicriteria decision tools (MCDM) stand out as a group of techniques to evaluate the MSWM scenarios. The author also emphasizes that MCDM methods have gained popularity over the last decade in the area of MSWM, since complex and integrated processes involving distinct dimensions such as environmental, social and economic are totally solvable with the use of MCDM. Among the MCDM proposed by several authors, the TOPSIS tool was the predominant one, because the ease of use and the consistency of its results. Additionally, (Coban et al., 2018) show that using a single MCDM method to rank the alternatives may lead the proposed solutions susceptible to uncertainties.

The uncertainties arise from qualitative parameters, better known as linguistic variables collected in the study that are essential for model decision making. Thus, the fuzzy method proposes the solution by converting the linguistic terms into diffuse numbers (Topaloglu et al., 2018). In the present study we used two MCDMs: AHP and fuzzy TOPSIS. The integration of these methods is explained and discussed in the research methodology.

## **RESEARCH DESIGN**

This paper presents an evaluation model and the selection of practices and technologies for solid waste management (Figure 1). The model initially consists of a systemic literature review for the identification and hierarchization of evaluation criteria. The

opinion of experts allows the selection of the most relevant strategy for solid waste management. Also, through the literature we identified practices of sustainable and innovative operations that associated with a determined context may support technological and organizational alternatives for the construction of scenarios. With the selected criteria and organization of scenarios, multicriteria decision support methods guide the selection of the best practices and technologies for waste management.

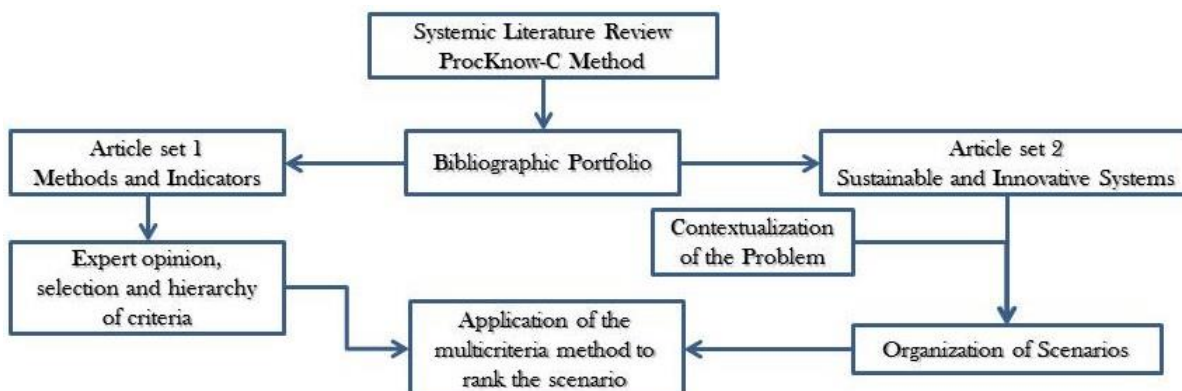


Figure 1. Selection model of practices and technologies for waste management.  
Source: Elaborated by authors.

With a systemic review of literature based on the methodology proposed by Ensslin *et al.* (2010), *Knowledge Development Process-Constructivist (ProKnow-C)* a ‘Paper Set’ is organized to analyze the content of these papers, identifying evaluation criteria and characteristics of innovative and sustainable operations in waste management. From the results of the review, a questionnaire was elaborated (Table 1) and filled out by experts, to select criteria relevant to the implementation of sustainable and innovative operating systems in waste management.

Table 1: Questionnaire for selection of criteria

Public acceptance	Quality of waste collected
Political support	Amount of waste collected
Infrastructure Capacity	Revenue
Capacity of Innovation	Power recovery
Products Lifecycle	Recovery of Raw Material
Public awareness	Reduction of recyclables in landfills
Creation of new jobs	Income from recyclables sold
Cost with equipment	Environmental Risks / Impacts
Cost with qualified staff	Noise
Maintenance cost	Safety and Hygiene

	Transportation costs		System Sustainability
	Investment cost		Size of the population to be served
	Operational cost		Discard rate
	Unemployment		Recycling rate
	Availability of collection points		Collection time
	System efficiency		Type of waste to be collected
	Atmospheric emissions		Vehicle traffic
	Aesthetics		Waste treatment
	Odor		Operational Feasibility

Source: Elaborated by authors.

The Analytic Hierarchy Process (AHP) step analyzes the criteria judgments, performed by the specialists through the correlation between the criteria, using the classification presented in Table 2.

Table 2. Numerical classification

Value	Definition	Explanation
1	Equal Importance	Identical contribution
3	Low Importance	Slightly higher judgment
5	Strong Importance	Judgment strongly in favor
7	Very strong importance	Recognized Domain
9	Absolute Importance	Proven domain
2,4,6,8	Intermediate values	Doubt

Source: adapted Saaty (2008).

The TOPSIS methodology is based on the principle that there are "n" criteria and "m" alternatives. The selected alternative comprises having a minimum distance from the ideal positive solution and maximum distance from the ideal negative solution (Gupta & Barua, 2018). The Ideal positive solution is the solution that maximizes benefit criteria and minimizes cost criteria, while Ideal Negative Solution is the solution that maximizes cost criteria and minimizes benefit criteria (Mesquita, 2014). Chen, (2000) extended the TOPSIS as triangular Fuzzy Numbers (FN). Chen introduced a vertex method to calculate the distance between two triangular FNs. If  $\tilde{x} = (a1, b1, c1)$ ,  $\tilde{y} = (a2, b2, c2)$  are two triangular FNs (1).

$$d(\tilde{x}, \tilde{y}) := \sqrt{\frac{1}{3} [(a1 - a2)^2 + (b1 - b2)^2 + (c1 - c2)^2]} \quad (1)$$

We applied TOPSIS Fuzzy procedure according to Nădăban, et al. (2016). Step 1 is the classification of attribution to the criteria and the alternatives. We assume that are



available a group of decision makers with members of  $K$ . The Fuzzy classification of the decision maker  $k^{\text{th}}$  about alternatives  $A_i$  w.r.t. criterion  $C_j$  is denoted  $\tilde{x}_{ij}^k = (a_{ij}^k, b_{ij}^k, c_{ij}^k)$  and the weight of the criterion  $C_j$  is denoted  $\tilde{w}_{kj} = (wkj1, wkj2, wkj3)$ . Next, in step 2, the aggregate diffuse classifications for the alternatives (Table 3) and the diffuse weights aggregated for the criteria are calculated (Table 2).

Table 3. IVIFS linguistic values for linguistic terms

Linguistic Term	IVIFS
Low (L)	(0,0;0,1;0,3)
Reasonably Low (RL)	(0,1;0,3;0,5)
Medium (M)	(0,3;0,5;0,7)
Reasonably High (RH)	(0,5;0,7;0,9)
High (H)	(0,7;0,9;1,0)

Source: Adapted NÁdÁban et al. (2016).

The aggregated fuzzy classification  $\tilde{x}_{ij} = (a_{ij}, b_{ij}, c_{ij})$  de  $i^{\text{th}}$  alternative w.r.t.  $j^{\text{th}}$  The criterion is obtained as follows, see equation 2.

$$a_{ij} = \frac{\min}{k} \{a^k_{ij}\}, b_{ij} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^k b^k_{ij}, c_{ij} = \frac{\max}{k} \{c^k_{ij}\}. \quad (2)$$

The aggregate weight fuzzy  $\tilde{w}_j = (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3})$  for the criterion  $C_j$  is calculated by the formulas:

$$w_{j1} = \frac{\min}{k} \{w^k_{j1}\}, w_{j2} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^k w^k_{j2}, w_{j3} = \frac{\max}{k} \{w^k_{j3}\}. \quad (3)$$

The normalized fuzzy decision matrix is then calculated in step 3. The fuzzy decision matrix normalized is  $\tilde{R} = [\tilde{r}_{ij}]$ , (4) e (5).

$$\tilde{r}_{ij} = \left( \frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij}}{c_j^*}, \frac{c_{ij}}{c_j^*} \right) \text{ e } c_j^* = \frac{\max}{i} \{c_{ij}\} \text{ (benefit criterion)} \quad (4)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left( \frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^-}{b_{ij}}, \frac{a_j^-}{a_{ij}} \right) \text{ e } c_j^- = \frac{\min}{i} \{a_{ij}\} \text{ (cost criterion)} \quad (5)$$

After, the weighted normalized fuzzy decision matrix (step 4) is calculated. The Weighted normalized fuzzy decision matrix is  $\tilde{V} = (\tilde{v}_{ij})$ , at where  $\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} \times w_j$ . In the sequence (step 5) the Ideal Positive Diffuse Solution (FPIS) (6) and the Ideal Fuzzy Negative Solution (FNIS) (7) are determined. FPIS and FNIS are calculated as follows:

$$A^* = (\tilde{v}_1^*, \tilde{v}_2^*, \dots, \tilde{v}_n^*), \text{ where } \tilde{v}_j^* = \frac{\max}{i} \{v_{ij3}\}; \quad (6)$$

$$A^- = (\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-), \text{ where } \tilde{v}_j^- = \frac{\min}{i} \{v_{ij1}\}; \quad (7)$$

The distance from each alternative to FPIS and FNIS is determined (step 6). Let the distance from each alternative  $A_i$  to FPIS and FNIS, respectively (8).

$$d_i^* = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^*), d_i^- = \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-) \quad (8)$$

In step 7 we get the coefficient of proximity  $CC_i$  for each alternative. For each alternative  $A_i$  the coefficient of proximity  $CC_i$  of the following (9) is calculated.

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^*} \quad (9)$$

Finally, in step 8 the alternatives are classified. The alternative with higher coefficient of proximity represents the best alternative. The TOPSIS Fuzzy method was applied using a spreadsheet program.

## RESULTS

In this section, the results are described in four steps. The first is a systematic review of the literature in papers with content analyzes on the methods, evaluation criteria and characteristics related to the topic waste management. The second stage comprises the interview with specialists for selection and hierarchization of the criteria. In the third stage, the contextualization of a real problem and the organization of alternatives for a possible solution is presented. In the last step, the multicriteria method is applied to select the best alternative.

## SYSTEMIC LITERATURE REVIEW

The application of the Procknow-C methodology starts with the keywords' definition. We selected 23 research terms divided into 3 research axes (Table 4).

Table 4. Axes and terms used in the research

Axes	Diagnosis	Sustainable Operations	Waste Management
Search Terms	Diagn*;	Sustainab*;	"waste management";
	Audit*;	"Triple bottom line";	"Solid waste*";
	Evaluat*;	"Value creation";	"Municipal waste*";
	Analy*;	"Business model";	"Zero waste*"
	Perform*;	"Smart Cit*";	
	Assess*;	IOT;	
	Manag*;	"Internet of things";	

Means\*.  
Recyc\*;  
Upcyc\*;  
Reduc\*;  
Reus\*.

---

Source: Elaborated by authors.

The papers collection was conducted in the Web of Science and Scopus databases through combinations of the search terms and the axes. The seek was limited to the last 10 years (only papers), the resulting references were inserted in the Mendeley software, where the duplicated papers were excluded, totaling a result of 21,040 papers. The process continued with the analysis of the titles, which resulted in 503 works aligned to the research theme.

In the scientific recognition analysis, the 228 papers with more than five citations passed through an analysis of the abstracts and 88 were considered aligned to the research theme, the authors of these papers formed a bank of authors with 254 authors. The 275 papers with less than five citations went to the reanalysis process, being selected 22. The sum of the selected references resulted in 110 items that, through the reading in full, allowed to organize the paper set. This paper set was then divided into two sets, whose first objective was to identify methodologies and evaluation criteria in waste management in different contexts, and the second set aimed to identify sustainable and innovative waste management systems. The references and the evaluation methodologies of the first set can be verified in Table 5.

Table 5. Methods identified in the papers of the first paper set

Authors	Methods													
	AHP	ASPID	TOPSIS	ELECTRE	VIKOR	ANP	MCDA-C	DEA	PROMETHEE	GAIA	WARM	FUZZY	SAW	Authorial
(Arikan et al., 2017)			X						X			X		
(Banar et al., 2010)				X		X								
(Coban et al., 2018)			X						X					
(Deus et al., 2016)											X			
(Herva & Roca, 2013)	X								X	X				
(Hlatka et al., 2018)			X											
(Huang et al., 2011)								X						
(Jovanovic et al., 2016)			X										X	
(Khalili & Duecker, 2013)				X										
(Lolli et al., 2016)									X			X		
(Makan et al., 2013)									X					

(Milutinović et al., 2014)	X												
(Milutinovic et al., 2016)	X												
(Mir et al., 2016)			X		X								
(Pires et al., 2011)	X		X										
(Rigamonti et al., 2016)													X
(Rodrigues et al., 2018)							X						
(Sarraf et al., 2017)								X					
(Simões et al., 2012)								X					
(Stefanović et al., 2016)	X	X											
(Topaloglu et al., 2018)			X									X	
(Vucijak; Silajd 2015)	X				X			X					

Source: Elaborated by authors.

It is observed in Table 5 that the TOPSIS evaluation methodology was the most used as seen in Arıkan et al. (2017), Coban et al. (2018), Hlatka et al. (2018), Jovanovic et al. (2016), Mir et al. (2016) Pires et al. (2011) and Topaloglu et al. (2018). The criteria were identified (see Frame 1), but due to the different contexts for the different indicators, it was decided to group similar criteria, for example, Jovanovic et al., (2016) uses particulate matter; emission of gases (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> e N<sub>2</sub>O); j already Stefanović et al., (2016) used and classifies emissions of greenhouse gases (CO<sub>2</sub>) and emissions of acid gases (NO<sub>x</sub> and SO<sub>2</sub>) as environmental indicators. In the present work all are considered in the criterion atmospheric emissions. The second set consists of 13 references (Table 6), the content analysis was oriented to identify sustainable and innovative systems in solid waste management.

Table 6. Sustainable and innovative features identified in the second set of papers in the paper set.

References	Features
(Da Silva, 2018)	Circular economy as a new way of thinking about the current issues of urban planning and management creating opportunities.
(Dahlen et al., 2010)	Scheme of payments of collection rate of waste <i>Pay as you throw</i> based on weight and volume.
(Diaz-Diaz et al., 2017)	Intelligent city business models based on a benchmarking of eight urban services rendered in the city of Santander, with waste management being highlighted by a 20% reduction in the cost of providing annual service.
(Elia et a., 2015)	It proposes a holistic framework for designing and managing PAYT systems applied to MSWM services through intelligent technology solutions.
(Elia et al., 2018)	Dynamic collection schemes for Waste Electrical and Electronic

	Equipment, through IoT technology.
(Gelbmann & Hammerl, 2015)	Appropriate business model for the establishment of new (sustainable) systems of products and services (SPSS) for reuse with social enterprises of labor integration oriented ecologically (ECO-WISEs).
(Manni & Runhaar, 2014)	Scheme for payment of the waste collection rate <i>Pay as you throw</i> as an incentive to deduct waste.
(Misra et al., 2018)	It features an intelligent waste collection system based on an IoT trash can that measures the level of material in the trash can and the presence of gases and sends this information to a cloud server for storage and processing over the Internet.
(Rada, Ragazzi, & Fedrizzi, 2013)	Optimization of the selective collection with the implementation of a system based on Geographic Information Systems (Web-GIS).
(Rebehy et al. 2017)	Social innovation proposed through a sustainable and inclusive business model, with intensive use of information technology and logistics.
(Tseng & Bui, 2017)	Business management through eco-innovation, and industrial symbiosis to achieve win-win status in supply chain networks.
(Wen et al., 2017)	Studies the implementation and evaluation of a sensor-based IoT network technology to improve wastage management of restaurant food in the city of Suzhou, China.
(Yerraboina, et al. 2018)	Prototype of IoT trash can called " <i>Smart Garbage Bin</i> ".

Source: Elaborated by authors.

As shown in Table 6, the IoT information technologies are the most prominent features due to the number of papers that approach it within the set, being studied by Diaz-Diaz et al. (2017), Elia et al. (2015, 2018), Misra et al. (2018), Wen et al. (2017) and Yerraboina et al. (2018).

## SELECTION AND HIERARCHIZATION OF CRITERIA

Three specialists were selected, all of them graduated in Environmental Engineering, being one master's in civil engineering and a professor in the area of Solid Waste Management. The other has a master's degree in environmental engineering, with experience in municipal waste management. Through a questionnaire with objective answers, it was requested that the relevant criteria for the implementation and operation of sustainable and innovative waste management systems should be indicated. Each of the specialists received a questionnaire to mark the criteria, individually and without consultation among the

interviewees. The eleven criteria selected (Table 7) are observed in the literature and considered relevant by both experts. For the application of multicriteria methods, the selected criteria were divided by the authors into three categories (environmental, economic and social).

Table 7: Indicators observed in the literature and selected by the specialists

Category	Criteria
Social	C1 - Public acceptance
	C2 - Awareness
	C3 - Safety and hygiene
Environmental	C4 - Amount of waste collected
	C5 - Environmental risks and impacts
	C6 - Reduction of recyclables in landfills
Economic	C7 - Equipment Cost
	C8 - Cost of Investment
	C9 - Operational cost
	C10 - Income of Recyclables
	C11 - System Efficiency

Source: Elaborated by authors.

The peer comparison was performed by the experts according to the AHP methodology and Saaty's classification (Table 2). In the Table 8 are shows the results of the weights of each criterion after the specialists judgment by the AHP method

Table 8. Weights of the criteria

Criteria	Weights			Average	
	Spec. 1	Spec. 2	Spec. 3		
Social	C1	0,106	0,283	0,106	0,165
	C2	0,633	0,643	0,633	0,637
	C3	0,260	0,074	0,260	0,198
Environmental	C4	0,455	0,748	0,633	0,612
	C5	0,091	0,071	0,106	0,089
	C6	0,455	0,180	0,260	0,298
Economic	C7	0,053	0,370	0,056	0,160
	C8	0,057	0,370	0,084	0,171
	C9	0,362	0,151	0,216	0,243
	C10	0,143	0,073	0,154	0,124
	C11	0,385	0,035	0,490	0,303

Source: Elaborated by authors.

## CONTEXTUALIZATION OF SOLID WASTE MANAGEMENT IN A MUNICIPALITY IN THE WESTERN BRAZILIAN STATE OF SANTA CATARINA TO BUILD THE POSSIBLE SCENARIOS

According to the Environmental department of a municipality located in the west of Santa Catarina, which has no landfill and own machinery for garbage collection, this service is the responsibility of a private company. The municipality pays a fixed amount for the collection of recyclable waste and a variable value according to the number of tailings. Therefore, decreasing the amount of recyclable organic matter mixed with tailings decreases the value of the variable rate to be paid. So, the problem can be synthesized in the following question. What systems alternatives for the optimization of solid waste management?

Considering the results observed in the second set of papers in the portfolio (Table 6), the selected indicators and the presented context were constructed 7 possible scenarios for comparison and application of the multicriteria methodology in order to select a possible ideal scenario. Said scenarios are described in Table 9.

Table 9: Description of Scenarios

<b>Scenario</b>	<b>Description of the recycling collection scenarios</b>
A1	Current scenario without change, door-to-door collection without recyclable waste identification system, and without financial incentive or fine.
A2	Collection of door-to-door, with the use of systems of identification by colored packs / bags without use of technology or other financial incentive.
A3	Collection door-to-door, using identification systems by colored packs / bags without using technology with fines application for those who do not make the separation.
A4	Collection door-to-door with the use of GIS tools, route classification and priority locations, identify recyclable materials and apply fines to those who do not make the separation.
A5	Recyclable waste collection points in the municipal center and center of the neighborhoods, at strategic points without use of technology or financial incentive or fine.
A6	Collection points for recyclable waste using IoT trash can in the center of the municipality, in the center of the neighborhoods in strategic locations without a

	discount in the IPTU or other similar financial incentive.
A7	Collection points for recyclable waste using the IoT trash can in the center of the municipality, in the center of the neighborhoods in strategic locations with a discount in the IPTU or other similar financial incentive.

Source: Elaborated by authors.

## ANALYSIS BY THE TOPSIS FUZZY METHODOLOGY

Through the analysis of the three specialist, seven scenarios or alternatives for the collection of recyclable solid waste were evaluated for the context of the city studied, considering the eleven selected criteria and their respective weights. It should be noted that the classifications: Environmental, Economic and Social, have equal weights for this work, that is, that is, the sum of the environmental criteria has the same weight as the sum of the social criteria, which in turn is equal to the sum of the economic criteria.

For the application of the TOPSIS Fuzzy methodology, the specialists filled out a spreadsheet with linguistic variables (Table 3), relating the scenarios to the criteria. Tables 10, 11 and 12 show the linguistic judgments regarding the performance of the alternatives.

Table 10: Specialists assessment matrix 1 on the performance of alternatives

Alternatives	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
A1	H	L	L	H	H	L	L	L	L	L	L
A2	RH	RL	RL	RH	RH	L	L	L	L	L	L
A3	RL	RL	RL	M	M	M	L	L	L	L	RL
A4	RL	M	M	RL	M	M	RL	RL	RL	M	RH
A5	M	M	M	RL	M	RH	M	M	M	M	RH
A6	RL	M	RH	L	RL	H	RH	RH	M	H	H
A7	M	M	RH	L	RL	H	RH	RH	M	H	H

Source: Elaborated by authors.

Table 11: Specialists assessment matrix 2 on the performance of alternatives

Alternatives	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
A1	M	RL	L	RL	RH	L	L	L	RL	RL	RL
A2	M	M	RL	M	M	RL	RL	RL	RL	RL	M
A3	L	RH	M	M	RL	RL	RL	RL	M	M	M
A4	RL	H	H	RH	L	M	M	RH	M	RH	RH
A5	M	RH	RH	RH	RL	RH	RH	RH	RH	RH	RH
A6	RH	RH	RH	H	L	H	H	H	H	H	H
A6	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H

Source: Elaborated by authors.



Table 12: Specialists assessment matrix 3 on the performance of alternatives

Alternatives	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C8	C10	C11
A1	H	L	L	H	H	L	M	M	RH	L	RL
A2	M	RL	RL	H	RH	RL	RH	RH	H	RL	RL
A3	RL	RH	M	H	RL	RH	RH	RH	H	RH	RH
A4	RL	RH	M	H	RL	RH	RH	RH	H	RH	RH
A5	L	M	RH	L	M	M	M	M	RL	M	M
A6	L	M	RH	M	M	M	M	H	M	RH	M
A7	M	RH	H	RH	L	RH	M	H	M	H	RH

Source: Elaborated by authors.

The values presented in the tables were converted into fuzzy numbers, and the normalized results then multiplied by the respective weight of each criterion. The ideal positive and negative solutions were calculated according (4) and (5). Using the method according (6) , (7), and (8), was determined the distances between the values and the ideal positive solutions (FPIS) and the negative (FNIS). With (9), it was calculated the approximation coefficient (CCi). Table 13 lists the rankings of the alternatives and their respective Overall Performance (OP) according to the judgment of each specialist. The Table 13 shows a final ranking that is the result of a weighted average of the results.

Table 13: Result with the ranking of alternatives

Alternatives	Ranking Specialist 1	OP	Ranking Specialist 2	OP	Ranking Specialist 3	OP	Final Ranking	DG Average
A1	7	0,509	7	0,513	7	0,476	7	0,488
A2	5	0,526	6	0,528	6	0,478	6	0,494
A3	2	0,531	4	0,534	3	0,522	4	0,526
A4	1	0,533	1	0,552	3	0,522	2	0,532
A5	4	0,527	5	0,534	2	0,526	3	0,528
A6	6	0,525	3	0,534	5	0,514	5	0,521
A7	3	0,528	2	0,552	1	0,548	1	0,549

Source: Elaborated by authors.

It can be seen that alternative A7 (Recyclable garbage collection points using the IoT trash can in the center of the municipality, the center of the neighborhoods in strategic locations with a discount in the IPTU or other similar financial incentive) has the highest rank which means that it is the collection of recyclable solid waste that comes closest to the ideal positive solution and is also the furthest from the ideal negative solution.

## CONCLUSION

The present work fulfills the objectives of structuring a model to evaluate the implementation of sustainable operations and technologies in MSWM. Based on the results it is still not possible to ensure that technological and innovative systems are a final solution. However, is clear, from the options selected by the experts that the current waste management method is not the most appropriate. As a limitation of this investigation, we consider the interpretation of the indicators by the specialists. They selected the criteria based on their experiences. As a future agenda is possible going beyond the replication of the search, choosing other criteria. Organizing the scenarios and selecting possible alternatives, the MCDM approach should also consider the manager's opinion, as well as in the selection and hierarchy of the criteria.

## REFERENCES

- Al-Khatib, I. A., Arafat, H. A., Basheer, T., Shawahneh, H., Salahat, A., Eid, J., & Ali, W. (2007). Trends and problems of solid waste management in developing countries: A case study in seven Palestinian districts. *Waste Management*, 27(12), 1910–1919. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2006.11.006>
- Arikan, E., Şimşit-Kalender, Z. T., & Vayvay, Ö. (2017). Solid waste disposal methodology selection using multi-criteria decision making methods and an application in Turkey. *Journal of Cleaner Production*, 142, 403–412. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.054>
- Banar, M., Özkan, A., & Kulaç, A. (2010). Choosing a recycling system using ANP and ELECTRE III techniques. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 34(3), 145–154. <https://doi.org/10.3906/muh-0906-47>
- Chen, C. T. (2000). Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment. *Fuzzy Sets and Systems*, 114(1), 1–9. [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(97\)00377-1](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(97)00377-1)
- Coban, A., Ertis, I. F., & Cavdaroglu, N. A. (2018). Municipal solid waste management via multi-criteria decision making methods: A case study in Istanbul, Turkey. *Journal of Cleaner Production*, 180, 159–167. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.130>
- Da Silva, C. L. (2018). Proposal of a dynamic model to evaluate public policies for the circular economy: Scenarios applied to the municipality of Curitiba. *Waste Management*, 78, 456–466. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.06.007>
- Dahlen, L., Lagerkvist, A., Dahlén, L., & Lagerkvist, A. (2010). Pay as you throw Strengths and weaknesses of weight-based billing in household waste collection systems in Sweden. *Waste Management*, 30(1), 23–31. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.09.022>
- Deus, R. M., Battistelle, R. A. G., & Silva, G. H. R. (2016). Scenario evaluation for the management of household solid waste in small Brazilian municipalities. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 19(1), 205–214. <https://doi.org/10.1007/s10098-016-1205-0>
- Diaz-Diaz, R., Munoz, L., Perez-Gonzalez, D., Díaz-Díaz, R., Muñoz, L., Pérez-González, D., ... Perez-Gonzalez, D. (2017). Business model analysis of public services operating in the smart city ecosystem: The case of SmartSantander. *FUTURE GENERATION COMPUTER SYSTEMS-THE INTERNATIONAL JOURNAL OF ESCIENCE*, 76, 198–214. <https://doi.org/10.1016/j.future.2017.01.032>
- Elia, V., Gnoni, M. G., & Tornese, F. (2015). Designing Pay-As-You-Throw schemes in municipal waste management services: A holistic approach. *Waste Management*, 44, 188–195. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.07.040>
- Elia, V., Gnoni, M. G., & Tornese, F. (2018). Improving logistic efficiency of WEEE collection through dynamic scheduling using simulation modeling. *Waste Management*, 72, 78–86. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.11.016>
- Gelbmann, U., & Hammerl, B. (2015). Integrative re-use systems as innovative business models for devising sustainable product-service-systems. *Journal of Cleaner Production*, 97, 50–60. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.104>
- Gupta, H., & Barua, M. K. (2018). A framework to overcome barriers to green innovation in SMEs using BWM and Fuzzy TOPSIS. *Science of the Total Environment*, 633, 122–139. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.173>
- Herva, M., & Roca, E. (2013). Ranking municipal solid waste treatment alternatives based on ecological footprint and multi-criteria analysis. *Ecological Indicators*, 25, 77–84.

- <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.09.005>
- Hlatka, M., Stopka, O., & Chovancova, M. (2018). The Solution of the Sorted Waste Collection Using the Methods of Multi-criteria Decision-making, 164–170.
- Huang, Y.-T., Pan, T.-C., & Kao, J.-J. (2011). Performance assessment for municipal solid waste collection in Taiwan. *JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT*, 92(4), 1277–1283. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.12.002>
- Jovanovic, S., Savic, S., Jovicic, N., Boskovic, G., & Djordjevic, Z. (2016). Using multi-criteria decision making for selection of the optimal strategy for municipal solid waste management. *Waste Management and Research*, 34(9), 884–895. <https://doi.org/10.1177/0734242X16654753>
- Khalili, N. R., & Duecker, S. (2013). Application of multi-criteria decision analysis in design of sustainable environmental management system framework. *Journal of Cleaner Production*, 47, 188–198. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.10.044>
- Lolli, F., Ishizaka, A., Gamberini, R., Rimini, B., Ferrari, A. M., Marinelli, S., & Savazza, R. (2016). Waste treatment: an environmental, economic and social analysis with a new group fuzzy PROMETHEE approach. *CLEAN TECHNOLOGIES AND ENVIRONMENTAL POLICY*, 18(5, SI), 1317–1332. <https://doi.org/10.1007/s10098-015-1087-6>
- Makan, A., Malamis, D., Assobhei, O., Loizidou, M., & Mountadar, M. (2013). Multi-criteria decision aid approach for the selection of the best compromise management scheme for the treatment of municipal solid waste in Morocco. *International Journal of Environment and Waste Management*, 12(3), 300–317. <https://doi.org/10.1504/IJEW.2013.056197>
- Manni, L. A., & Runhaar, H. A. C. (2014). The social efficiency of pay-as-you-throw schemes for municipal solid waste reduction: A cost-benefit analysis of four financial incentive schemes applied in Switzerland. *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*, 16(1). <https://doi.org/10.1142/S146433321450001X>
- Milutinović, B., Stefanović, G., Dassisti, M., Marković, D., & Vučković, G. (2014). Multi-criteria analysis as a tool for sustainability assessment of a waste management model. *Energy*, 74(C), 190–201. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.05.056>
- Milutinovic, B., Stefanovic, G., Kyoseva, V., Yordanova, D., & Dombalov, I. (2016). Sustainability assessment and comparison of waste management systems: The Cities of Sofia and Niš case studies. *Waste Management and Research*, 34(9), 896–904. <https://doi.org/10.1177/0734242X16654755>
- Mir, M. A., Ghazvinei, P. T., Sulaiman, N. M. N., Basri, N. E. A., Saheri, S., Mahmood, N. Z., ... Aghamohammadi, N. (2016). Application of TOPSIS and VIKOR improved versions in a multi criteria decision analysis to develop an optimized municipal solid waste management model. *JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT*, 166, 109–115. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.09.028>
- Misra, D., Das, G., Chakraborty, T., & Das, D. (2018). An IoT-based waste management system monitored by cloud. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 20(3), 1574–1582. <https://doi.org/10.1007/s10163-018-0720-y>
- Nădăban, S., Dzitac, S., & Dzitac, I. (2016). Fuzzy TOPSIS: A General View. *Procedia Computer Science*, 91(Itqm), 823–831. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.07.088>
- Pires, A., Chang, N.-B., & Martinho, G. (2011). An AHP-based fuzzy interval TOPSIS assessment for sustainable expansion of the solid waste management system in Setúbal Peninsula, Portugal. *Resources, Conservation and Recycling*, 56(1), 7–21. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.08.004>
- Pongeluppe Wadhy Rebehy, P. C., Costa, A. L., Campello, C. A. G. B. C. A. G. B., Espinoza, D. de F., Neto, M. J., Rebehy, P. C. P. W., ... Neto, M. J. (2017). Innovative social business of selective waste collection in Brazil: Cleaner production and poverty

- reduction. *JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION*, 154, 462–473.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.173>
- Rada, E. C., Ragazzi, M., & Fedrizzi, P. (2013). Web-GIS oriented systems viability for municipal solid waste selective collection optimization in developed and transient economies. *Waste Management*, 33(4), 785–792.  
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.01.002>
- Rigamonti, L., Sterpi, I., & Grosso, M. (2016). Integrated municipal waste management systems: An indicator to assess their environmental and economic sustainability. *Ecological Indicators*, 60, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.06.022>
- Rodrigues, A. P., Fernandes, M. L., Rodrigues, M. F. F., Bortoluzzi, S. C., da Costa, S. E., & de Lima, E. (2018). Developing criteria for performance assessment in municipal solid waste management. *Journal of Cleaner Production*, 186, 748–757.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.067>
- Saaty, T. L. (2008). Relative Measurement and Its Generalization in Decision Making: Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors. *Rev R Acad Cien*, 102(2), 251–318. Retrieved from <http://www.rac.es/ficheros/doc/00576.PDF>
- Sarra, A., Mazzocchitti, M., & Rapposelli, A. (2017). Evaluating joint environmental and cost performance in municipal waste management systems through data envelopment analysis: Scale effects and policy implications. *Ecological Indicators*, 73, 756–771.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.10.035>
- Simões, P., Carvalho, P., & Marques, R. C. (2012). Performance assessment of refuse collection services using robust efficiency measures. *Resources, Conservation and Recycling*, 67, 56–66. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.07.006>
- Stefanović, G., Milutinović, B., Vučićević, B., Denčić-Mihajlov, K., & Turanjanin, V. (2016). A comparison of the Analytic Hierarchy Process and the Analysis and Synthesis of Parameters under Information Deficiency method for assessing the sustainability of waste management scenarios. *Journal of Cleaner Production*, 130, 155–165.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.050>
- Topaloglu, M., Yarkin, F., & Kaya, T. (2018). Solid waste collection system selection for smart cities based on a type-2 fuzzy multi-criteria decision technique. *Soft Computing*, 22(15), 4879–4890. <https://doi.org/10.1007/s00500-018-3232-8>
- Tseng, M. L., & Bui, T. D. (2017). Identifying eco-innovation in industrial symbiosis under linguistic preferences: A novel hierarchical approach. *Journal of Cleaner Production*, 140, 1376–1389. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.014>
- Vucijak, B., & Silajd, I. (2015). Multicriteria decision making in selecting best solid waste management scenario : a municipal case study from Bosnia and Herzegovina. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.030>
- Wen, Z., Hu, S., De Clercq, D., Beck, M. B., Zhang, H., Zhang, H., ... Liu, J. (2017). Design, implementation, and evaluation of an Internet of Things (IoT) network system for restaurant food waste management. *Waste Management*.  
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.11.054>
- Yerraboina, S., Kumar, N. M., Parimala, K. S., & Aruna Jyothi, N. (2018). Monitoring the smart garbage bin filling status: An iot application towards waste management. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 9(6), 373–381. Retrieved from <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85049254292&partnerID=40&md5=ad40ccee9eda35018c4e3566a6ea3473>