



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Gabriela Hammes

**Ferramenta para a avaliação de desempenho da logística reversa de pós-consumo**

Florianópolis  
2020

Gabriela Hammes

**Ferramenta para a avaliação de desempenho da logística reversa de pós-consumo**

Dissertação submetida ao Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de mestre em engenharia de produção

Orientadora: Profa. Marina Bouzon, Dra.

Coorientador: Prof. Carlos Manuel Taboada Rodriguez, Dr.

Florianópolis

2020

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

Hammes, Gabriela

Ferramenta para a avaliação de desempenho da logística reversa de pós-consumo / Gabriela Hammes ; orientadora, Marina Bouzon, coorientador, Carlos Manuel Taboada Rodriguez, 2020.

94 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Florianópolis, 2020.

Inclui referências.

1. Engenharia de Produção. 2. Logística reversa. 3. Avaliação de desempenho. 4. Indicadores. I. Bouzon, Marina. II. Rodriguez, Carlos Manuel Taboada. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. IV. Título.

Gabriela Hammes

**Ferramenta para a avaliação de desempenho da logística reversa de pós-consumo**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Profa Marina Bouzon, Dra  
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Antônio Sérgio Coelho, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina

Profa Claudia Cecilia Peña Montoya, Dra  
Universidad Autonoma de Occidente, Colômbia

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Engenharia de Produção.

---

Prof. Enzo Morosini Frazzon, Dr.  
Coordenador do Programa

---

Profa Marina Bouzon, Dra  
Orientadora

Florianópolis, 2020.

Este trabalho é dedicado aos meus queridos pais.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela minha vida, pela minha família, amigos e pela oportunidade de estar concluindo meu mestrado. Obrigada Senhor por estar sempre presente em minha vida, por sempre me mostrar o melhor caminho, me fazer compreender o que parecia incompreensível e pela força nos dias de dificuldade.

Aos meus pais, Leonardo e Ruth, por todo o amor, carinho, compreensão e suporte durante toda a minha vida, por estarem sempre ao meu lado me incentivando. Vocês são meu maior exemplo. As minhas avós Elza (*in memoriam*) e Rainildes, por todo o amor e apoio.

Ao professor Carlos Manuel Taboada Rodriguez, por me apresentar o mundo da logística e me orientar deste a graduação. Por todo o conhecimento transferido, o meu muito obrigada. A minha orientadora Marina Bouzon agradeço imensamente por todas as vezes que me ajudou mesmo durante suas férias, por todo o conhecimento compartilhado e pelas valiosas sugestões. Sua ajuda foi essencial, muito obrigada.

Agradeço também aos colegas do Laboratório de Desempenho Logístico (LDL) da UFSC e aos colegas do PPGEP pelas pesquisas realizadas em conjunto e pelos conhecimentos compartilhados em todas as nossas conversas.

Por fim, agradeço a Universidade Federal de Santa Catarina, todo o corpo docente do Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas pelas experiências e conhecimentos compartilhados e pela oportunidade de formação em um curso de pós graduação público e de qualidade.

Comece fazendo o que é necessário, depois o que é possível, e de repente você estará fazendo o impossível (São Francisco de Assis)

## RESUMO

O termo logística reversa é utilizado para designar o retorno de produtos para a cadeia produtiva tanto após a sua venda quanto ao final da sua vida útil. Considerando a crescente preocupação com o meio ambiente, surgem exigências legislativas quanto à responsabilidade pelos resíduos gerados pelos fabricantes, onde a logística reversa entra como uma forma de adequação à lei. Assim, diversas empresas acabam por implementar a logística reversa por obrigação legal e não conseguem usufruir de seus benefícios. É necessário que a empresa conheça seus fluxos reversos e que estes sejam constantemente melhorados para atender às suas necessidades e trazer benefícios para a mesma. Assim, a avaliação de desempenho da logística reversa é importante para que se acompanhe as atividades desenvolvidas e se perceba onde as melhorias podem ser aplicadas. Este estudo tem como objetivo propor uma ferramenta para a avaliação de desempenho da logística reversa de pós-consumo. A partir de uma revisão da literatura foi possível mapear as atividades realizadas pela logística reversa e identificar indicadores para a avaliação destas atividades. O intuito foi propor indicadores para cada atividade em separado, para que a empresa que aplicar a ferramenta possa selecionar apenas as atividades que realiza. Para a seleção dos melhores indicadores, foram consultados especialistas da área por meio de um questionário quanto ao grau de importância de cada indicador. Os dados foram tratados com o auxílio do Método *Fuzzy Delphi*, que possibilitou a seleção ou eliminação dos indicadores. A ferramenta possibilita a adaptação do sistema de avaliação de desempenho de acordo com as metas de cada empresa. Apesar de a literatura destacar a importância da atividade de classificação dos materiais e disponibilidade de indicadores para tal, todos eles foram eliminados pelos especialistas de acordo com o método utilizado. Para a aplicação da ferramenta, o método AHP é utilizado pelos gestores de cada empresa para a hierarquização dos indicadores e das atividades, para que as informações geradas pelo sistema de avaliação de desempenho estejam relacionadas aos objetivos e metas da empresa. Para demonstrar a aplicabilidade da ferramenta, um caso de uma empresa fictícia foi simulado.

**Palavras-chave:** Logística reversa. Avaliação de desempenho. Indicadores.



## ABSTRACT

The term reverse logistics is used to designate the return of products to the production chain both after their sale and at the end of their useful life. Considering the growing concern on the environment, legislative requirements arise regarding responsibility for waste generated by manufacturers, where reverse logistics enters as a form of adaptation to the law. Thus, several companies end up implementing reverse logistics due to legal obligations and are unable to enjoy its benefits. It is necessary that the company knows its reverse flows and that they are constantly improved to meet its needs and bring benefits to it. Thus, the performance evaluation of reverse logistics is important to monitor the activities developed and understand where the improvements can be applied. This study aims to propose a tool for the performance evaluation of post-consumer reverse logistics. From a literature review, it was possible to map the activities carried out by reverse logistics and identify indicators for the evaluation of these activities. The intention was to propose indicators for each activity separately so that the company that applies the tool can select only the activities it performs. To select the best indicators, specialists in the area were consulted by means of a questionnaire regarding the degree of importance of each indicator. The data were treated with the aid of the Fuzzy Delphi Method, which made it possible to select or eliminate the indicators. The tool makes it possible to adapt to the performance evaluation system according to the goals of each company. Although the literature highlights the importance of the activity of classifying materials and has indicators for this, all of them were eliminated by specialists according to the method used. For the application of the tool, the AHP method is used by the managers of each company for the hierarchy of indicators and activities, so that the information generated by the performance evaluation system is related to the objectives and goals of the company. To demonstrate the applicability of the tool, a case of a fictional company was simulated.

**Keywords:** Reverse Logistics. Performance Evaluation. Indicators.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxo da LR.....	25
Figura 2 - Evolução da AD.....	27
Figura 3 - Etapas da pesquisa.....	35
Figura 4 - Seleção dos artigos brutos.....	45
Figura 5 - Atualização do PB.....	46
Figura 6 - Artigos publicados por ano.....	47
Figura 7 - Mapeamento da LR de pós consumo.....	48
Figura 8 - Ferramenta para AD da LR.....	70
Figura 9 - Desempenho de cada atividade.....	76

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Escala de importância do AHP.....	41
Quadro 2 - Índice de consistência aleatório conforme o tamanho da matriz de decisão.....	43
Quadro 3 - Resultados do FDM.....	66
Quadro 4 - Matriz de comparação pareada para as avaliações de classificação.....	69
Quadro 5 - Comparação e pesos das atividades .....	72
Quadro 6 - Comparação e pesos para os indicadores de relacionamento com clientes.....	72
Quadro 7 - Comparação e pesos para os indicadores de coleta.....	73
Quadro 8 - Comparação e pesos para os indicadores de inspeção .....	73
Quadro 9 - Comparação e pesos para os indicadores de classificação.....	73
Quadro 10 - Comparação e pesos para os indicadores de reciclagem.....	73
Quadro 11 - Comparação e pesos para os indicadores de disposição final .....	74
Quadro 12 - Desempenho da empresa fictícia.....	74
Quadro 13 - Desempenho de cada atividade .....	75

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AD	Avaliação de Desempenho
AHP	Analytical Hierarchy Process
ANP	Analytic Network Process
DEMATEL	Decision Making Trial and Evaluation Laboratory
EW	Entropy Weight
FAHP	Fuzzy Analytical Hierarchy Process
FDM	Fuzzy Delphi Method
IC	Índice de Consistência
ICA	Índice de Consistência Aleatório
MABAC	Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison
MCDA	Multicriterion Decision Aid
MCDM	Multiple Criteria Decision Making
LabMCDA	Laboratório de Metodologias Multicritério em Apoio à Decisão
LDL	Laboratório de Desempenho Logístico
LR	Logística Reversa
PB	Portfólio Bibliográfico
PNRS	Política nacional do Resíduos Sólidos
<i>Proknow-C</i>	<i>Knowledge Development Process-Constructivist</i>
TC	Taxa de Consistência
TOPSIS	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
1.1.	CONTEXTUALIZAÇÃO .....	15
1.2.	OBJETIVOS .....	17
<b>1.2.1.</b>	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>17</b>
<b>1.2.2.</b>	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>17</b>
1.3.	JUSTIFICATIVA .....	18
1.4.	DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	20
1.5.	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	21
<b>2.</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>22</b>
2.1.	LOGÍSTICA REVERSA .....	22
2.2.	AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO .....	26
<b>2.2.1.</b>	<b>Conceitos e histórico .....</b>	<b>26</b>
<b>2.2.2.</b>	<b>Estruturas e modelos .....</b>	<b>30</b>
<b>2.2.3.</b>	<b>Avaliação de desempenho logístico .....</b>	<b>32</b>
2.3.	FERRAMENTAS MULTICRITÉRIO UTILIZADAS NA LOGÍSTICA REVERSA 33	
<b>3.</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....</b>	<b>35</b>
3.1.	PRIMEIRA PARTE: EMBASAMENTO TEÓRICO .....	37
3.2.	SEGUNDA PARTE: DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA.....	39
3.3.	TERCEIRA PARTE: EXEMPLO DE APLICAÇÃO .....	40
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS .....</b>	<b>44</b>
4.1.	ANÁLISE DA LITERATURA .....	44
<b>4.1.1.</b>	<b>Bibliometria.....</b>	<b>46</b>
4.2.	MAPEAMENTO DA LR DE PÓS CONSUMO .....	48
4.3.	INDICADORES DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DA LR.....	50
<b>4.3.1.</b>	<b>Indicadores para o relacionamento com os clientes .....</b>	<b>50</b>

4.3.2.	<b>Indicadores para coleta .....</b>	<b>53</b>
4.3.3.	<b>Indicadores para teste e inspeção.....</b>	<b>58</b>
4.3.4.	<b>Indicadores para classificação .....</b>	<b>59</b>
4.3.5.	<b>Indicadores para desmontagem .....</b>	<b>60</b>
4.3.6.	<b>Indicadores para reciclagem.....</b>	<b>61</b>
4.3.7.	<b>Indicadores para remanufatura .....</b>	<b>62</b>
4.3.8.	<b>Indicadores para reutilização .....</b>	<b>64</b>
4.3.9.	<b>Indicadores para disposição final.....</b>	<b>65</b>
4.4.	<b>APLICAÇÃO DO MÉTODO FUZZY DELPHI PARA SELEÇÃO DOS INDICADORES .....</b>	<b>66</b>
4.5.	<b>FERRAMENTA PARA AVALIAÇÃO DA LR.....</b>	<b>68</b>
4.6.	<b>EXEMPLO NUMÉRICO .....</b>	<b>71</b>
<b>5.</b>	<b>DISCUSSÕES .....</b>	<b>77</b>
5.1.	<b>MÉTODO FUZZY DELPHI.....</b>	<b>77</b>
5.2.	<b>FERRAMENTA PARA AD DA LR.....</b>	<b>81</b>
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>83</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>85</b>
	<b>APÊNDICE A – Descrição.....</b>	<b>92</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Este capítulo aborda a contextualização do tema objeto de pesquisa, o problema verificado e a justificativa para a realização do estudo. Na sequência, são apresentados os objetivos geral e específicos, a metodologia adotada e a descrição da estrutura geral do trabalho.

## 1.1.CONTEXTUALIZAÇÃO

A logística é responsável pela movimentação e armazenamento de materiais do fabricante até o seu ponto de consumo. Esta atividade cria valor de tempo e lugar, pois um produto não tem valor a não ser que esteja em poder dos clientes quando (tempo) e onde (lugar) eles pretendem consumi-los (BALLOU, 2004). O fluxo contrário da logística direta, onde os produtos retornam do seu ponto de consumo para o fabricante é conhecido como Logística Reversa (LR). Este retorno tem o intuito de, quando possível, reciclar, remanufaturar ou descartar corretamente os materiais retornados (DOWLATSHAHI, 2000).

Este fluxo reverso auxilia as empresas a se adequarem a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) instituída pela Lei Federal 12.305, promulgada no Brasil em 02 de agosto de 2010. Esta lei responsabiliza os fabricantes, varejistas e consumidores pela destinação correta dos resíduos gerados na produção, distribuição e consumo dos produtos, bem como da sua disposição após o uso.

Além de ser um meio para se adequar à PNRS, a LR auxilia na diminuição do consumo dos recursos naturais e na redução do impacto ambiental gerado pelas empresas ao reciclar e reutilizar produtos em fim de vida (WIBOWO; GRANDHI, 2017). Este ponto ganha maior relevância devido à mudança na cultura de consumo (HERNÁNDEZ; MARTINS; CASTRO, 2012) e à escassez dos recursos naturais (SKAPA; KLAPALOVA, 2012), o que faz com que as empresas busquem na LR uma solução para a sua adaptação a estes requisitos. Com isso, o interesse pela LR vem aumentando nos últimos anos devido à crescente percepção, por parte das empresas, das vantagens envolvidas na sua implementação (SHAIK; ABDUL-KADER, 2018), e auxilia na diminuição do impacto ambiental gerado pelas organizações (HAMMES et al., 2020)

Além disso, um novo modelo econômico vem se desenvolvendo nos últimos anos, chamado de economia circular, que tem como objetivo reduzir ao mínimo o desperdício e restaurar os danos causados ao meio ambiente na produção e ao longo de todo o ciclo de vida

de um produto (MURRAY; SKENE; HAYNES, 2017). Assim, a LR se apresenta como uma ferramenta útil para a instalação deste novo modelo econômico, pois recoloca materiais que antes seriam descartados indevidamente no ciclo produtivo, os transformando em matérias-primas novamente.

A realidade do Brasil, quanto à geração e descarte dos resíduos, ainda é preocupante. De acordo com uma pesquisa realizada pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), no ano de 2018 foram gerados 79 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos, nos quais 40,5%, ou seja, 29,5 milhões de toneladas foram destinados a lixões e locais inadequados. Este valor se deve ao fato de que 26,9% dos municípios brasileiros não possui coleta seletiva e os que a possuem não conseguem atingir todos os seus habitantes (ABRELPE, 2019).

Porém, a PNRS vem surtindo efeito e mostrando seus resultados. No ano de 2018, 67 mil toneladas de resíduos recicláveis foram coletadas por cooperativas e associações de catadores (ABRELPE, 2019). Ainda como resultado desta lei, em 2018, 94% das embalagens vazias de defensivos agrícolas comercializadas no país foram recolhidas. Deste total processado, 93% foi enviado para reciclagem e 7% para incineração. Estes valores colocam o Brasil como referência mundial no assunto (ABRELPE, 2019).

No entanto, como a LR inicia com os consumidores, eles também devem se sentir motivados a iniciar o processo de retorno. Em alguns casos, o programa de LR pode ter início a partir das reivindicações dos clientes, que exigem a adoção de soluções ambientalmente corretas para os resíduos gerados pela empresa na qual estão consumindo (SANGWAN, 2017). Assim, as empresas que possuem LR estão continuamente buscando melhorar a qualidade dos seus processos, suas estratégias e capacidades para se tornarem um diferencial frente aos seus competidores e alcançarem a satisfação dos seus clientes (SHAIK; ABDUL-KADER, 2018).

Com a globalização, as pessoas começam a mudar seus hábitos de consumo, não só em busca de soluções ambientalmente corretas, mas também na procura por praticidade e comodidade na hora do consumo, optando pelas compras online. Isso transparece no aumento das vendas pelo comércio eletrônico, que acaba refletindo no aumento da demanda pela LR, pois cerca de 30% dos produtos vendidos online são retornados (ROBINSON, 2018), fazendo com que a LR não seja mais uma opção e sim uma necessidade. Desta forma, o retorno de um produto pode começar a ser planejado já no seu desenvolvimento, no qual ele é projetado de forma a facilitar a LR e a reutilização ou reaproveitamento de seus componentes, como proposto por Ravi e Shankar (2005). Para os autores, a aplicabilidade da LR inicia-se no desenvolvimento



do produto (com a escolha do conteúdo, estrutura, material e tecnologia utilizada) até o retorno e destinação dos materiais após o fim da vida do produto. Isso envolve investimento financeiro, aspectos operacionais e desempenho a longo prazo, o que pode representar riscos para a empresa que aplica a LR. Apesar das vantagens de se implantar a LR, ela ainda é vista como um centro de custos dentro das organizações (HERNÁNDEZ; MARTINS; CASTRO, 2012), o que dificulta a sua aplicação. Atualmente, os custos de logística reversa no mundo somam mais de US\$ 750 bilhões por ano (ROBINSON, 2018).

Desta forma, é necessário que as atividades reversas sejam bem planejadas, implementadas e geridas, para que seus riscos diminuam e seus benefícios sejam percebidos. A implementação ineficiente da LR tem impacto nos custos operacionais e em baixos lucros (TRAPPEY; TRAPPEY; WU, 2010). Assim, para se ter uma situação de ganho tanto no âmbito econômico quanto no ambiental, as empresas precisam dominar sua LR (JANSE; SCHUUR; DE BRITO, 2010) e a Avaliação de Desempenho (AD) pode auxiliar neste domínio.

O objetivo da AD não é somente o de mensurar como a empresa está operando por meio de indicadores, mas também deve mostrar os pontos de melhoria a serem aplicados (MICHELI; MARI, 2014). Assim, a AD tem um papel relevante na gestão da LR ao mostrar onde podem-se aplicar melhorias no sistema para torná-lo mais eficiente.

A avaliação da eficiência do canal reverso é uma questão importante, pois resulta em cadeias mais rentáveis e eficientes (NOVEIRI et al., 2019), garantindo o sucesso da LR nas organizações (WIBOWO; GRANDHI, 2017). Desta forma, é perceptível a importância do desenvolvimento de sistemas de AD para a LR, a fim de acompanhar os seus processos e realizar melhorias para que estes sejam rentáveis e vantajosos. Butzer et al. (2017) afirmam que não é possível gerenciar eficientemente as cadeias reversas sem medir o seu desempenho.

## 1.2.OBJETIVOS

### 1.2.1. Objetivo Geral

Desenvolver uma ferramenta para avaliar o desempenho da LR de pós-consumo para empresas de manufatura para adequada tomada de decisão nos assuntos envolvendo este fluxo reverso.

### 1.2.2. Objetivos Específicos

- a) Mapear os processos de retorno envolvidos na LR de pós-consumo;
- b) Identificar na literatura quais os indicadores para avaliar a LR;
- c) Selecionar um conjunto de indicadores para a LR com o auxílio de especialistas;
- d) Demonstrar a aplicabilidade da ferramenta por meio de um exemplo numérico.

### 1.3.JUSTIFICATIVA

A mudança na cultura de consumo (HERNÁNDEZ; MARTINS; CASTRO, 2012) e a escassez dos recursos naturais (SKAPA; KLAPALOVA, 2012) resulta na busca pelo reaproveitamento de materiais e diminuição do uso de matérias-primas virgens. Desta forma, as empresas estão implementando a LR como uma solução para a recuperação do valor econômico ainda existente nos produtos em fim de vida útil, no caso da LR de pós-consumo, ou em produtos defeituosos, no caso dos serviços de pós-venda.

Diversos materiais com valor agregado são descartados indevidamente na natureza e acabam se perdendo. Apesar de 67 mil toneladas de resíduos terem sido reciclados, 29,5 milhões de toneladas ainda acabam em locais inadequados (ABRELPE, 2019), fora a quantidade que acaba indo para aterros controlados. A estimativa é que até 2030 o Brasil irá produzir 100 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos por ano (ABRELPE, 2019). Percebe-se a falta de preocupação e responsabilidade por estes materiais que poderiam ser reaproveitados e reintegrados na cadeia produtiva, mas estão sendo enterrados ou largados em algum lugar da natureza.

Um exemplo é o plástico. Os tipos de plástico mais comumente utilizados não são biodegradáveis (GEYER; JAMBECK; LAW, 2017). Desta forma, ficam anos poluindo o meio ambiente enquanto poderiam ser reciclados e ter seu valor aproveitado. Em um estudo realizado por Geyer, Jambeck e Law (2017), estima-se que 8300 milhões de toneladas métricas de plástico virgem foram produzidas até o momento e 60% deste material está descartado no meio ambiente ou em aterros sanitários.

Tramita no senado brasileiro um projeto de lei para proibir a fabricação e distribuição de canudos e sacolas plásticas no país (BRASIL, 2018). No entanto, esta proibição não resolve o problema das toneladas de plástico já existentes e descartadas no planeta, além dos diversos outros materiais que estão na mesma situação. Desde 2010, o Brasil busca por soluções para o problema dos lixões e do descarte incorreto de materiais e resíduos por meio da PNRS. Apesar de ser o principal impulsionador da LR no país, ainda falta uma maior fiscalização e cobrança

quanto à adequação das empresas a lei. Além disso, nem todos os setores são contemplados pela lei, pois ela tem a proposta de ir adequando os setores aos poucos. Em 2015, foi assinado o acordo setorial das embalagens de plástico, papel/papelão e alumínio em geral. O controle é feito por meio de um índice que compara o número de embalagens recicláveis produzidas e o número de embalagens recicláveis recuperadas. Em 2017, este índice chegou a 87,2% para as embalagens de alumínio (ABRELPE, 2018). Isso se deve ao alto valor econômico do alumínio, o que estimula a venda de latinhas e outras embalagens. As embalagens de papel e papelão chegam ao índice de 52,3% de recuperação e as embalagens plásticas só 8,2%.

Implementar a LR apenas para se adequar à lei pode não ser vantajoso para a indústria. Os programas de LR devem fazer parte da estratégia das empresas pois, de acordo com Richey et al. (2005), um bom sistema de retornos pode funcionar como um centro de lucros e auxiliar na satisfação dos clientes. Assim, os programas de retorno devem ser bem implementados e acompanhados.

De acordo com as entrevistas realizadas por Janse, Schuur e De Brito (2010), um sistema de AD para a LR é difícil de ser realizado, bem como a sua implementação, gestão e acompanhamento. Assim, a elaboração de um sistema de AD para a LR requer atenção e estudos mais aprofundados. Prajapati, Kant e Shankar (2019) destacam que a AD da LR é pouco explorada na literatura e ainda é uma oportunidade de pesquisa.

A implementação da LR é um desafio para países em desenvolvimento (GUARNIERI; SILVA; LEVINO, 2016; HAMMES et al., 2020) e conta com um baixo número de publicações nestes países apesar de estarem crescendo entre os países do grupo econômico BRICS (Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul) (GOVINDAN; BOUZON, 2018). Sendo assim, existe uma escassez de estudos sobre LR nos países em desenvolvimento e isso não é surpreendente porque, enquanto LR é, muitas vezes, um componente mandatório das cadeias de suprimentos em países desenvolvidos, ela ainda está em um estado inicial nas economias emergentes (BOUZON et al., 2016). De acordo com Prajapati, Kant e Shankar (2019), os países em desenvolvimento são responsáveis por uma enorme geração de resíduos e as pesquisas na área de LR merecem especial atenção. A LR de pós-consumo auxilia na recuperação destes resíduos gerados, ao recolher produtos em fim de vida para recuperar seu valor. Percebe-se, assim, uma deficiência de estudos nessa área, que ainda necessita de um maior desenvolvimento no Brasil.

Devido à importância da LR para as recentes preocupações ambientais e sociais, sua implementação tornou-se quase que obrigatória. A AD auxilia as empresas a realizarem esta atividade com maior eficiência e eficácia. Além disso, a partir do acompanhamento das

atividades desenvolvidas é possível aplicar melhorias contínuas no processo. Diversos autores realizam pesquisas e propõem modelos para a AD da LR (POCHAMPALLY et al., 2009; TRAPPEY, TRAPPEY; WU, 2010; MONDRAGON, LALWANI; MONDRAGON, 2011; OLUGU, WONG; SHAHAROUN, 2011; HERNÁNDEZ, MARTINS; CASTRO, 2012; OLUGU; WONG, 2012; SKAPA; KLAPALOVA, 2012; SHAIK; ABDUL-KADER, 2012, 2013, 2014 E 2018; NIKOLAOU, EVANGELINOS; ALLAN, 2013; MIMOUNI; ABOUABDELLAH, 2016; BUTZER et al., 2017; WIBOWO; GRANDHI, 2017), porém são modelos que consideram os processos da LR como um todo, sem se preocupar com as particularidades de cada atividade desenvolvida. Por exemplo, quando um modelo propõe indicadores quanto à reciclagem de algum material, as empresas que não realizam esta atividade podem ter dificuldade de implementar este modelo.

Neely, Gregory e Platts (2005) destacam que os indicadores devem variar de acordo com o seu local de aplicação e não podem ser generalizado para todos os departamentos. Assim, Sangwan (2017) propõe indicadores dentro de três atividades consideradas pelo autor como básicas de LR: coleta, inspeção e recuperação dos produtos. Pandian e Abdul-Kader (2017) também avaliam algumas atividades da LR, mas trata as mesmas como agentes independentes, tais como: coletor; agente de classificação e reutilização; remanufatura; reciclagem; fornecedor; e distribuidor. Dentro desta mesma linha, percebe-se a falta de uma ferramenta que tenha com base todas as atividades desenvolvidas pela LR e que permita a sua adaptação de acordo com a realidade de cada empresa.

Para Micheli e Mari (2014), algumas organizações avaliam o que é mais fácil de medir e não ponderam a importância da informação gerada. Assim, foi desenvolvido um conjunto de indicadores para cada atividade da LR, considerando as suas particularidades e as informações geradas. Estes indicadores foram selecionados por especialistas da área utilizando o Método *Fuzzy Delphi* e compõem a ferramenta que pode ser adaptada de acordo com as necessidades de cada indústria de manufatura que opera a LR de pós-consumo.

#### 1.4. DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Esta pesquisa tem como foco o desenvolvimento de uma ferramenta para a AD da LR de forma a auxiliar os gestores quanto à adequada tomada de decisão nos assuntos envolvendo este fluxo reverso. Desta forma, a ferramenta busca avaliar as atividades de LR realizadas pela

empresa, que inicia com a conscientização dos clientes para que os mesmos retornem os produtos, até o retorno do produto ao processo produtivo e/ou sua adequada destinação.

Para a constituição do referencial bibliográfico da pesquisa foram utilizados artigos científicos revisados por pares que abordam a AD da LR. A ferramenta metodológica *Knowledge Development Process-Constructivist (Proknow-C)* foi utilizada para encontrar os artigos que compõem a base teórica. Assim, os artigos utilizados delimitam-se aos passos previstos pelo *Proknow-C*, descritos no capítulo dois. Os artigos utilizados como base teórica são derivados das bases de dados selecionadas e das palavras-chave utilizadas na busca, bem como a percepção da pesquisadora em selecionar os artigos de acordo com o método. A terceira etapa proposta pelo *Proknow-C* não foi realizada.

A ferramenta elaborada pode ser aplicada por qualquer empresa que realiza LR de pós-consumo. Como forma de demonstrar o seu funcionamento, um exemplo numérico foi desenvolvido, para atestar que empresas de qualquer setor podem utilizar a ferramenta.

## 1.5. ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta pesquisa estrutura-se em seis capítulos. Este capítulo introdutório apresenta a contextualização em que a pesquisa se insere, os objetivos, a justificativa e a delimitação da mesma, além desta estrutura.

O capítulo seguinte apresenta a fundamentação teórica com os conceitos utilizados como base na construção da ferramenta. O capítulo 3 aborda os procedimentos metodológicos utilizados no desenvolvimento da pesquisa. Os resultados e desenvolvimento da ferramenta são apresentados no capítulo quatro.

O capítulo cinco apresenta a discussão gerada a partir dos resultados. Por fim, as conclusões e indicações para pesquisas futuras são propostas no capítulo seis.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta as definições que foram a base para a construção desta pesquisa. Inicialmente os conceitos à respeito da LR são apresentados. Em seguida, a AD é melhor explicada por meio do seu histórico e conceito, e dos modelos de AD desenvolvidos. A AD logístico também é conceituada. Ao final, as ferramentas de decisão multicritério utilizada na LR são apresentadas.

### 2.1. LOGÍSTICA REVERSA

A LR surgiu com o intuito de retornar produtos defeituosos, obsoletos, com validade vencida, por garantia, ou como estratégia de substituição precoce para alavancar as vendas (BEZERRA; FREITAS, 2016). Com o passar do tempo, este processo passou a ser utilizado para a recuperação de valores tangíveis e intangíveis dos produtos após o seu uso (TRAPPEY; TRAPPEY; WU, 2010). Desta forma, quando o produto retorna para a empresa ele pode ser utilizado como matéria-prima para outros produtos, ser reparado e retornar ao mercado ou ser descartado de forma correta (MIMOUNI; ABOUABDELLAH, 2016). Segundo Sangwan (2017), a LR pode ser dividida em 3 principais estágios: coleta; inspeção e seleção; e recuperação do produto. Quando estes estágios são bem implementados e executados, podem resultar em uma vantagem competitiva para a empresa (OLUGU; WONG; SHAHAROUN, 2011; BJÖRKLUND; MARTINSEN; ABRAHAMSSON, 2012; HERNÁNDEZ; MARTINS; CASTRO, 2012; NIKOLAOU; EVANGELINOS; ALLAN, 2013; SANGWAN, 2017).

Além disso, a implementação da LR auxilia a empresa no atendimento a legislação (JANSE; SCHUUR; DE BRITO, 2010; OLUGU; WONG; SHAHAROUN, 2011; SKAPA; KLAPALOVA, 2012; NIKOLAOU; EVANGELINOS; ALLAN, 2013; BUTZER et al., 2017), presente em diversos países a respeito da remanufatura, reutilização e reciclagem dos materiais; melhora a imagem corporativa (TRAPPEY; TRAPPEY; WU, 2010; NIKOLAOU; EVANGELINOS; ALLAN, 2013), pois muitos consumidores estão buscando por empresas que adotem uma solução “verde” para seus resíduos (SANGWAN, 2017); diminuição nos custos (SKAPA; KLAPALOVA, 2012; NIKOLAOU; EVANGELINOS; ALLAN, 2013) ao utilizar os produtos retornados como matéria-prima, o que acaba aumentando o lucro da organização (SKAPA; KLAPALOVA, 2012; BUTZER et al., 2017). Isso resulta na satisfação de todas as partes interessadas da empresa (*stakeholders*) (POCHAMPALLY et al., 2009; JANSE;

SCHUUR; DE BRITO, 2010; OLUGU; WONG; SHAHAROUN, 2011; SKAPA; KLAPALOVA, 2012).

Outro motivo para a implementação da LR está na existência, em muitos casos, de um significativo valor econômico nos produtos de pós-consumo, que pode ser recapturado por meio do retorno destes materiais para a sua reutilização e/ou reciclagem (JANSE; SCHUUR; DE BRITO, 2010). Além disso, este processo tem impacto positivo para a sociedade, pois pode melhorar a qualidade de vida, gerar emprego e renda, e diminuir a degradação do meio ambiente por reduzir a extração de matéria-prima virgem e o descarte incorreto de resíduos (SKAPA; KLAPALOVA, 2012; BEZERRA; FREITAS, 2016). Desta forma, a LR resulta em benefícios não apenas econômicos, mas também em nível social (TRAPPEY; TRAPPEY; WU, 2010; BUTZER et al., 2017) e ambiental (NIKOLAOU; EVANGELINOS; ALLAN, 2013; SANGWAN, 2017) e se torna um fator de diferenciação e fidelização de clientes (HERNÁNDEZ; MARTINS; CASTRO, 2012; BEZERRA; FREITAS, 2016).

Rogers e Tibben-Lembke (1999, p. 2) definem este fluxo reverso como:

O processo de planejamento, implementação e controle do fluxo eficiente e de baixo custo de matérias primas, estoque em processo, produto acabado e informações relacionadas, desde o ponto de consumo até o ponto de origem, com o propósito de recuperação de valor ou descarte apropriado para coleta e tratamento de resíduos.

De acordo com Leite (2009), os retornos podem ser provenientes de produtos de pós-venda ou de pós-consumo. A LR de pós-venda ocorre em erros no processamento de pedidos, produtos defeituosos, garantia, recalls, entre outros produtos que necessitam retornar para a fábrica após sua venda e antes do uso por parte dos clientes. Os produtos de pós-consumo retornam para seus produtores após o fim de sua vida útil para que tenham um descarte ambientalmente correto, sejam reciclados, reutilizados e/ou remanufaturados.

A LR de pós-consumo compreende bens já consumidos, como produtos que ainda possuam condições de utilização, produtos descartados por terem exaurido sua vida útil e resíduos industriais, fluindo por canais reversos de reuso, remanufatura ou reciclagem até a destinação final (LEITE, 2009).

Esta pesquisa busca avaliar a LR nas indústrias de manufatura pela ótica do pós-consumo, considerado que este fluxo reverso é de maior ocorrência no setor industrial, e está envolvido diretamente com o cumprimento da legislação, no caso de produtos dentro do escopo da PNRS.

Os bens de pós-consumo podem ser divididos em três categorias (LEITE, 2009):

1. Bens descartáveis: bens com vida útil pequena, no máximo 6 meses. Constituem-se tipicamente por embalagens, brinquedos, materiais para escritório, suprimentos para computadores, artigos cirúrgicos, pilhas de equipamentos eletrônicos, fraldas, jornais, revistas, entre outros.
2. Bens semiduráveis: bens com vida útil de alguns meses, raramente superior a dois anos, como baterias de veículos, óleos lubrificantes, baterias de celulares, computadores e seus periféricos, revistas especializadas, entre outros.
3. Bens duráveis: bens com vida útil de alguns anos a algumas décadas. Incluem bens de capital em geral, como automóveis, eletrodomésticos, eletroeletrônicos, máquinas e equipamentos industriais, edifícios, aviões, navios, entre outros.

Ainda de acordo com Leite (2009), a coleta de lixo urbano, a coleta seletiva, o desmanche de bens duráveis e o comércio de segunda mão são as principais fontes de suprimento de produtos e materiais de pós-consumo da LR. Segundo Rogers e Tibben-Lembke (1999), os retornos podem ser provenientes de produtos ou de embalagens. Entre as opções para a destinação destes, os autores destacam que o produto pode retornar ao fornecedor; ser revendido; ser vendido via outlet; ser salvo; recondicionado; remanufaturado; reciclado; seus materiais podem ser recuperados; ou seguir para um aterro. As embalagens podem ser reutilizadas; recondicionadas; recicladas; serem salvas ou ter seus materiais recuperados. Já para Yusuf e Raouf (2013), os retornos podem ocorrer na manufatura, na distribuição ou pelos clientes.

Para que estes retornos aconteçam, diversas atividades são desenvolvidas para compor a LR e garantir seu bom funcionamento. De acordo com Barker e Zabinsky (2010), a LR deve desenvolver as atividades de coleta dos produtos, seleção e teste dos produtos coletados e reprocessamento. Segundo esta classificação dos autores, a coleta dos produtos pode envolver apenas os produtos produzidos pela empresa que realiza a coleta ou ampliar para a coleta de produtos produzidos por qualquer indústria. A inspeção e seleção é responsável pelo destino que este produto terá no reprocessamento e pode ocorrer já no momento da coleta ou de forma centralizada, quando todos os produtos chegam na empresa. Por fim, o reprocessamento pode ocorrer dentro da própria empresa ou em uma empresa secundária, como é o caso de recicladoras, por exemplo.

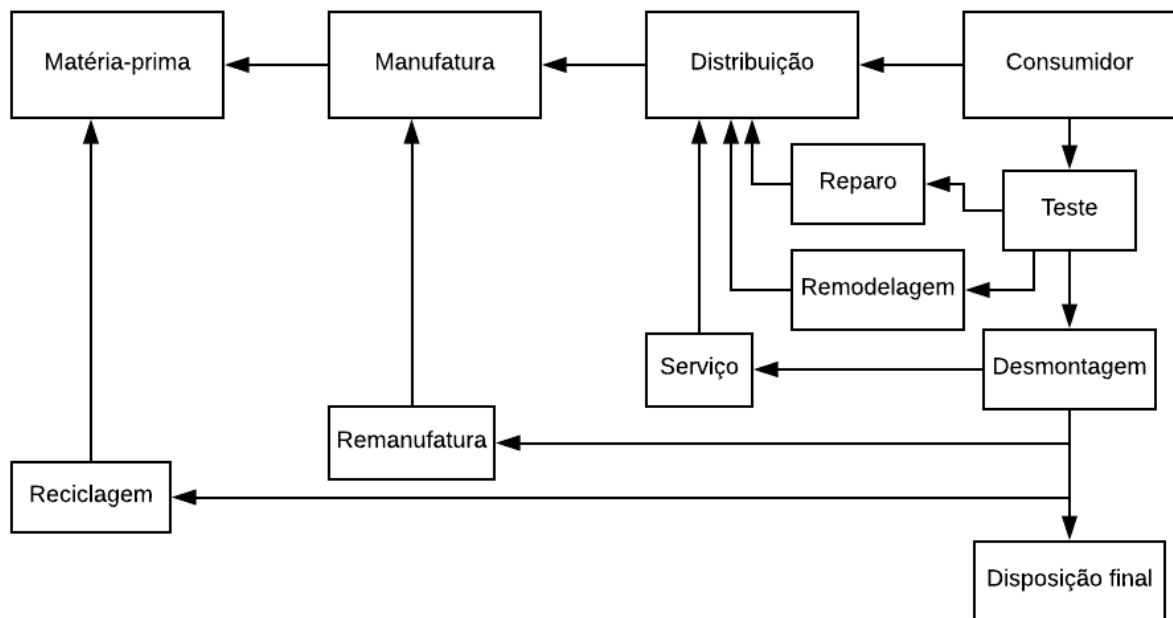
De encontro com o proposto por Barker e Zabinsky (2010), Badenhurst (2013) destaca que um processo básico de LR compreende as atividades de coleta, inspeção, classificação,



desmontagem e disposição. Estas atividades se encontram dentro do fluxo de material da LR apresentado por Srivastava (2008), como pode-se observar na Figura 1.

Segundo Daugherty et al. (2005), as empresas que implementam a LR devem ser capazes de lidar com as atividades envolvidas no retorno, como: seleção de estoque, transporte, coleta centralizada, dados de coleta, seleção, reuso ou remanufatura e disposição final. Já para Shaik e Abdul-kader (2014 e 2018), os processos envolvidos na execução da LR são: *Gatekeeping*, que seria a intensão do cliente em retornar um produto; coleta; transporte; classificação e armazenamento; recuperação de ativos; sistema de informação; e disposição final.

Figura 1 - Fluxo da LR



Fonte: Traduzido de Srivastava (2008)

De acordo com Sangwan (2017), a LR inicia com a coleta dos produtos e os que podem ser reutilizados são enviados para redistribuição, os demais são desmontados. Durante a desmontagem, as partes são testadas, classificadas e enviadas para sua destinação: reciclagem, remanufatura ou disposição final. Segundo Trappey, Trappey e Wu (2010), a LR inclui retornos diretos a manufatura, retornos indiretos a empresas de reparo, retornos individuais em pequenas quantidades, e uma variedade de opções de disposição.

As empresas podem aplicar todas estas atividades descritas por Srivastava (2008), ou somente uma parte delas. Isso depende do tipo de produto a ser retornado e do destino que este produto terá ao chegar na empresa novamente. A flexibilidade é necessária para lidar com estas

questões operacionais e também com as questões financeiras da implementação da LR, pois, para que esta seja eficiente, são necessárias uma infraestrutura adequada, tecnologia da informação, sistema de rastreamento e outros serviços de valor agregado (PRAKASH; BARUA, 2016). Segundo Badenhorst (2013), é importante que as empresas gerenciem todos os processos envolvidos na LR de forma eficiente e eficaz, para que possam entender todos os seus aspectos.

O sucesso das práticas reversas e a percepção dos benefícios gerados pela LR muitas vezes são prejudicados pela presença de algumas barreiras, tais como a falta de recursos financeiros e humanos, e a baixa importância destinada a esta área (BUTZER et al., 2017; GOVINDAN; BOUZON, 2018); a dificuldade de se prever a demanda (JANSE; SCHUUR; DE BRITO, 2010; MIMOUNI; ABOUABDELLAH, 2016); a falta de informação e sistemas tecnológicos, e do conhecimento dos benefícios da LR, além da falta de compromisso da alta administração (JANSE; SCHUUR; DE BRITO, 2010; BOUZON et al. 2016; BUTZER et al., 2017; GOVINDAN; BOUZON, 2018); e conhecimento fiscal (tributário) insuficiente (JANSE; SCHUUR; DE BRITO, 2010). Também são barreiras da LR: a falta de economia de escala, as incertezas envolvidas no campo financeiro, a falta de práticas de gestão de resíduos, falta de pessoas qualificadas no mercado e a falta de leis e impostos claros a respeito dos produtos retornados (BOUZON et al. 2016; GOVINDAN; BOUZON, 2018).

Janse, Schuur e de Brito (2010), Bouzon et al. (2016) e Govindan e Bouzon (2018) ainda destacam a falta de um sistema de AD adequado como uma barreira na implementação da LR, pois este é difícil de fazer, implementar e acompanhar. De acordo com Bezerra e Freitas (2016), um modelo de AD para a LR deve ter indicadores estritamente relacionados com os objetivos organizacionais. A seção seguinte aborda os conceitos e características da AD.

## 2.2. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

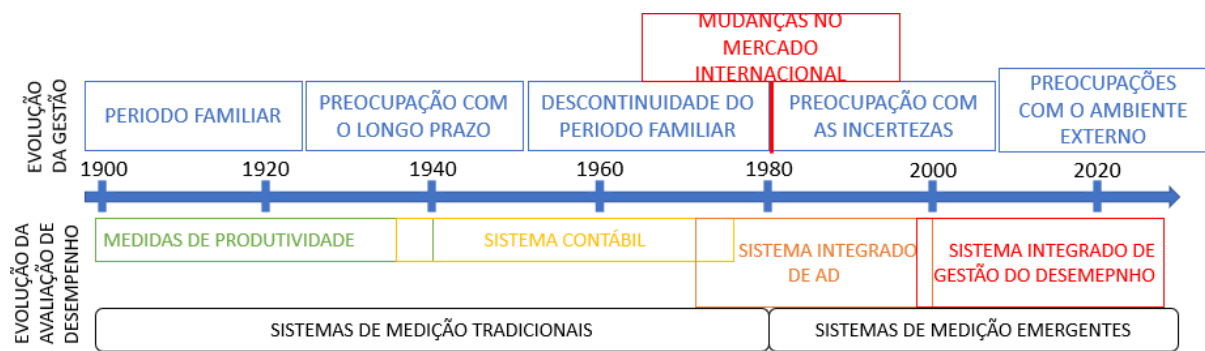
### 2.2.1. Conceitos e histórico

As medidas de desempenho são uma preocupação constante tanto no meio acadêmico quanto no industrial (BOURNE et al., 2000). Para Lebas (1995), um sistema de medição de desempenho auxilia na percepção de como a empresa estava no passado, como está atualmente, onde se quer chegar no futuro, ou seja, atingir as metas estabelecidas (BITITCI et al., 2012), como chegar lá e como saber se chegou (atingiu a meta). Este sistema deriva da estratégia da empresa, ou seja, os indicadores que compõem o sistema devem estar intimamente relacionados

com a estratégia que a empresa irá seguir e devem refletir os seus objetivos (NEELY, 1999; BOURNE et al., 2000; BEHN, 2003; NEELY, GREGORY e PLATTS, 2005; FRANCO-SANTOS et al., 2007; BITITCI et al., 2012; MELNYK et al., 2014). Desta forma, as medidas são utilizadas como base para a tomada de decisão e para a definição dos objetivos e metas que a empresa pretende atingir a longo prazo e fornecem um *feedback* da realização dos mesmos, bem como auxiliam no planejamento e na melhoria contínua da organização, ou seja, a gestão dificilmente poderia existir sem medição (LEBAS, 1995). Assim, o sistema de AD deve possibilitar a verificação dos pontos de melhoria dentro da empresa e não apenas a mensuração (MICHELI; MARI, 2014).

Mas nem sempre foi assim. Inicialmente, as medidas de desempenho tinham como base o sistema contábil da empresa e eram utilizadas apenas para monitoramento e premiação dos funcionários (GHALAYINI, NOBLE, 1996; LEBAS, 1995; BOURNE et al., 2000; BITITCI et al., 2012; CARNEIRO-DA-CUNHA, HOURNEAUX JR, CORRÊA, 2016). Neely (1999) destaca os pontos falhos dos sistemas de AD da época, tais como: visão de curto prazo, falta de foco estratégico e dados falhos quanto à qualidade, responsividade e flexibilidade, otimização local, encoraja os gestores a minimizar variâncias em vez de promover a melhoria contínua e falha de informações. A evolução das medidas de desempenho, de acordo com Bititci et al. (2012), tem origem no campo da contabilidade no século 13 e acompanham as mudanças na forma de gestão da empresa. Para Ghalayini e Noble (1996) e Bourne et al. (2000), as mudanças no mercado mundial geraram uma insatisfação com o sistema tradicional e foram o ponto de partida para novas formas de se medir o desempenho, agora voltadas para a estratégia da empresa. Carneiro-da-Cunha, Hourneaux Jr e Corrêa (2016) apresentam uma visão parecida, mas mostram o desenvolvimento do conceito em cada década. Para Neely (1999), a revolução nos sistemas de AD ocorreu devido a mudanças na natureza do trabalho; aumento da competitividade; iniciativas de melhoria específicas; premiações nacionais e internacionais; mudanças nas metas organizacionais; mudanças nas demandas externas; e ao poder da tecnologia da informação. Com base na visão destes autores (GHALAYINI, NOBLE, 1996; BOURNE et al., 2000; BITITCI et al., 2012; CARNEIRO-DA-CUNHA, HOURNEAUX JR, CORRÊA, 2016), a evolução dos sistemas de AD pode ser observada na Figura 2.

Figura 2 - Evolução da AD



Fonte: Adaptado de Ghalayini e Noble (1996), Bititci et al. (2012) e Carneiro-da-Cunha, Hourneaux Jr e Corrêa (2016).

A evolução das medidas de desempenho resultou em mudanças importantes no seu objetivo e na sua forma de medir. Os novos sistemas de avaliação são equilibrados e multidimensionais, com medidas de sucesso externo, de desempenho interno, medidas que fornecem um desempenho futuro do negócio e o registro histórico (BOURNE et al., 2000).

De acordo com Ghalayini e Noble (1996), as medidas de desempenho têm a função de avaliar, controlar e melhorar um processo de produção, bem como de comparar empresas, departamentos, funcionários, etc. Este é um termo abrangente e envolve a organização como um todo, incluindo as perspectivas: de operações, de controle estratégico e de gerenciamento contábil (FRANCO-SANTOS et al., 2007; BITITCI et al., 2012). Franco-Santos et al. (2007) concluem que não existe um consenso na literatura quanto ao conceito para a AD, mas sim para as suas características, seus processos e seu papel.

Neely, Gregory e Platts (2005, p. 1228) definem a AD como “o processo de quantificação de ação, onde a medição é o processo de quantificação e a ação é que leva ao desempenho”, ou seja, é a quantificação da eficiência e eficácia de uma ação. Já de acordo com Choong (2014), a medição, em teoria, está relacionada com a aproximação da realidade e não com a performance. A AD dentro de um sistema deve medir as atividades com o objetivo de melhoria e de alcance das metas, aplicando medidas corretivas quando necessário, além de deixar o sistema de informação mais eficiente.

Para Choong (2014), os objetivos da medição de desempenho devem estar em conformidade com as necessidades dos *stakeholders* e ser claros, para que as informações corretas cheguem aos *stakeholders*. As empresas devem ter seus objetivos claros, com as metas a serem alcançadas, em um espaço de tempo e uma forma para que sejam atingidas (LEBAS 1995).

De acordo com Micheli e Mari (2014), as empresas, tanto públicas quanto privadas, tem investido muitos recursos em sistemas de AD que tenham informações precisas do seu real desempenho, mas falta uma maior clareza dos fundamentos filosóficos utilizados. Para Bititci et al. (2015) as empresas não devem se preocupar com o que é feito, mas sim em como é feito, ou seja, como a AD é implementada e acompanhada a longo prazo e se as informações chegam aos gerentes e a todos os funcionários da empresa. Para Nudurupai et al. (2011), muitos dos Sistemas de Avaliação de Desempenho (SAD) não permitem a agilidade e a responsabilidades pois as informações apresentadas não são relevantes, poucos SAD possuem um sistema de gestão da informação integrado e muitas vezes são utilizados como forma de controle e comando por parte dos gestores.

Devido a isso, a formulação dos critérios de medição merece especial atenção. De acordo com Melnyk et al. (2014), uma medida de desempenho é quantificável e verificável, já a métrica é uma medida de desempenho que quantifica o que está acontecendo com uma meta que indica o que é um bom ou mau desempenho e mostra as consequências de se estar acima ou abaixo da meta. Ainda segundo os autores, um sistema de AD envolve processos para se definir as metas e a coleta, análise e interpretação dos dados, enquanto que um sistema de gerenciamento do desempenho avalia a diferença entre os resultados obtidos e os desejados, o porquê desta diferença e as melhorias a serem realizadas.

Micheli e Mari (2014) ressaltam que algumas organizações resumem seu escopo de avaliação para o que é mais fácil de medir e não pela importância da informação gerada. Medidas abstratas são inúteis, é necessário se extrair informações que possam ser utilizadas pela empresa dentro de um contexto (BEHN, 2003). Nudurupati et al. (2011) resumem os requisitos para a concepção de medidas de desempenho: identificar os requisitos das partes interessadas; executar o monitoramento externo; desenvolver objetivos; ter um sistema de implantação alinhado (indicadores de desempenho); ter relacionamentos causais (entre os indicadores principais e atrasados); quantificar os relacionamentos causais; e identificar capacidades. Neely, Gregory e Platts (2005) destacam pontos importantes para a elaboração dos critérios e do sistema de AD, tais como:

1. Os critérios de medição devem ser elaborados a partir da estratégia da empresa;
2. Os critérios de medição devem possibilitar a comparação com outras empresas do mesmo ramo;
3. O propósito do critério deve ser claro e deixar explícito que ele pode variar conforme as circunstâncias;

4. O critério de avaliação deve ser simples e fácil de usar, com métodos de coleta de dados e de cálculos bem definidos;
5. Dar preferência a critérios de medição baseados em raciocínio lógico e com rápido *feedback*;
6. Adotar critérios de avaliação não-financeiros;
7. Um critério pode variar de acordo com o seu local de aplicação e não pode ser generalizado para todos os departamentos;
8. Estabelecer critérios mais específicos para níveis mais baixos a fim de comunicar os objetivos estratégicos para este nível;
9. A organização deve ter controle dos seus critérios de avaliação;
10. O conjunto de critérios (SAD) deve estimular a melhoria contínua e possibilitar a percepção de áreas problemáticas para facilitar a tomada de decisões; e
11. Periodicamente os critérios de avaliação devem ser reavaliados a fim de continuarem atendendo os objetivos estratégicos da organização.

### **2.2.2. Estruturas e modelos**

Apesar de fornecer os indicadores que as empresas precisam, os sistemas emergentes de AD não indicavam como ele deveria ser implementado e incorporado na empresa e, desta forma, Bourne et al. (2000) propõem uma estrutura para o desenvolvimento do sistema de AD, dividido em três fases: o desenho das medidas de desempenho; a implementação das medidas de desempenho; e o uso das medidas de desempenho. Semelhante a isso, Franco-Santos et al. (2007) propõem cinco categorias do processo de AD que se sobrepõem às fases propostas por Bourne et al. (2000). A primeira fase do modelo de Bourne et al. (2000) propõe que no projeto do sistema devem-se identificar os objetivos chave de acordo com a estratégia da empresa e projetar as medidas de desempenho com base neles. Nesta fase, encontra-se a primeira categoria de Franco-Santos et al. (2007) onde as medidas de desempenho devem ser selecionadas e desenhadas. A segunda fase de Bourne et al. (2000) e a segunda categoria de Franco-Santos et al. (2007) é a de implementação, onde os dados são coletados e processados para permitir que as medidas sejam feitas regularmente. Esta fase pode envolver o uso de tecnologias de programação para capturar dados já coletados e torná-los úteis e para a captura de novos dados antes não coletados (BOURNE et al., 2000). Esta infraestrutura de apoio é uma das características mais importantes do sistema (FRANCO-SANTOS, et al., 2007), apesar de

apresentar muitos problemas (BOURNE et al., 2000). A terceira fase é o uso das medidas de desempenho que, primeiro devem medir o sucesso da estratégia adotada e segundo, as informações devem ser utilizadas para avaliar a estratégia desafiando seus pressupostos, ou seja, esta fase compreende a retroalimentação do sistema (BOURNE et al., 2000) e a cultura organizacional faz com que isso aconteça (MELNYK et al., 2014). As demais categorias de Franco-Santos et al. (2007) estão presentes nesta fase, que compreendem a gestão da informação, a avaliação do desempenho e recompensas e a revisão do sistema. As fases e categorias são conceituais, na prática eles podem se sobrepor conforme a necessidade. Além disso, o sistema deve estar pronto para sofrer alterações de acordo com as mudanças da empresa, afinal os negócios estão em constante mudança e a gerência deve estar apta para identificar, avaliar, responder e aprender com a mudança (MELNYK et al., 2014). Quanto mais próxima da última fase do modelo de Bourne et al. (2000) uma empresa se encontra, mais madura ela é (BITITCI et al., 2015).

Desta forma, um sistema de gerenciamento e medição de desempenho tem como função estabelecer os níveis atuais de desempenho; comunicar à direção a respeito do que deve ser alcançado; estimular a ação ao identificar uma oportunidade de melhoria; facilitar o aprendizado; e implementar a estratégia da empresa, garantindo a mudança (MELNYK et al., 2014). Nudurupati et al. (2011) utilizam os estágios de Bourne et al. (2000) para descrever o ciclo de vida do SAD. Diversos modelos e frameworks são apresentados na literatura que auxiliam no estágio de design da SAD, mas existem poucos estudos quanto a sua implementação (NEELY, 1999; BOURNE et al., 2000). Os últimos estágios propostos por Bourne et al. (2000), de uso e retroalimentação do SAD, fornecem informações que, se utilizadas corretamente, resultam na melhoria do sistema e dos processos.

Segundo Nudurupati et al. (2011), no contexto do SAD, um sistema de gestão da informação deve ser responsável pela coleta, análise e armazenamento dos dados; pela melhoria do controle operacional, da velocidade e da flexibilidade das operações; e por uma melhor comunicação resultando em um funcionamento eficiente e eficaz dos processos. Este sistema de informação está presente em todos os estágios do SAD proposto por Bourne et al. (2000). Para Choong (2014), o sistema de informação pode ser dividido em diferentes níveis de informação, pois existem diferentes níveis de stakeholders: as partes interessadas com direitos legais (gerentes, acionistas, etc.) precisam de informações mais detalhadas do que as partes interessadas que não possuem direitos legais da organização (ex; comunidade). Desta forma, os métodos de informação devem atender a estas necessidades.

Além disso, em alguns casos o SAD pode apresentar algumas falhas ou ser prejudicado pela falta de convergência e de padronização devido a ser uma área multidisciplinar. De acordo com Van Camp e Braet (2016), os fracassos do SAD podem ocorrer em um dos 3 níveis propostos por Bourne (2000), são eles:

1. Dificuldades com as métricas, parâmetros e indicadores: Falta de entendimento do que é uma métrica por parte de quem formula o sistema, bem como do que deve ser medido, porque e como.
2. Fracassos dos modelos e frameworks: Uso de diferentes abordagens dentro de um mesmo modelo ou framework dificulta a sua utilização. Outro motivo para o fracasso é o uso de frameworks antigos (obsoletos) e genéricos, que não estão de acordo com a realidade da empresa.
3. Fracassos na implementação e operação do sistema (gestão): A falta de suporte para a gestão do sistema é vista como o principal motivo para o fracasso. Além disso, a falta de “ambição pela melhoria”, ou seja, falta de vontade por parte dos gestores, que são resistentes a mudança, também é um motivo. Falta tempo e comprometimento por parte da alta gerência para fazer o sistema funcionar.

Outros autores já destacam a mesma visão de Bourne et al. (2000) quanto ao sistema considerar a parte externa e estar preparado para sofrer alterações conforme a necessidade às mudanças na estratégia da empresa (LEBAS, 1995; GHALAYINI, NOBLE, 1996; BOURNE et al., 2000; NEELY, GREGORY e PLATTS, 2005; BITITCI et al., 2012). Bourne et al. (2000) e Neely (1999) destacam, ainda, a falta de pesquisa nas duas últimas fases do processo de implementação e a importância dos processos de revisão das medidas de desempenho, que podem acabar por não refletir mais a estratégia ao longo do tempo. A AD e o seu gerenciamento, juntos, podem garantir o domínio dos processos e o seu sucesso futuro (LEBAS, 1995).

### **2.2.3. Avaliação de desempenho logístico**

Os sistemas de avaliação de desempenho podem abranger toda a empresa em um único sistema, porém, devem considerar as particularidades de cada setor da mesma. Desta forma, as atividades logísticas devem ser avaliadas de acordo com as suas metas e objetivos dentro do planejamento estratégico da empresa. A Avaliação de desempenho Logístico (ADL) tem como objetivo monitorar, controlar e direcionar as operações (BOWERSOX, CLOSS, 2001), e deve comparar os resultados obtidos com os esperados (BALLOU, 2004).



Para Rey (1998) inicialmente deve-se definir o que se espera do sistema de ADL para, então, se definir os indicadores. Segundo a autora, os indicadores podem ser divididos em quatro grupos: custos, produtividade, qualidade e tempo de resposta. Estes grupos são complementares e devem ser avaliados de forma integrada.

Bowersox e Closs (2001) definem medidas internas e externas a ADL. As medidas externas envolvem a percepção dos clientes e o benchmarking das melhores práticas para desenvolvimento de novas estratégias. Já as medidas internas são divididas em cinco categorias: os custos envolvidos para atingir os objetivos e o faturamento com as vendas; o nível de serviço ao cliente; produtividade; mensuração de ativos, que envolve o giro de estoque e o retorno de investimento gerado por ativos fixos; e a qualidade.

Já para Beamon (1999), um indicador único poderia trazer simplicidade para o sistema, porém, existe uma grande dificuldade na sua formulação pois o mesmo precisa retratar o desempenho de todo o sistema e estar de acordo com a estratégia da empresa. Desta forma, o autor afirma que são necessários três tipos de medidas de desempenho: em recursos, para medir o nível de eficiência da cadeia, como os custos, inventário e retorno dos investimentos; em produção, para medir o nível de serviço ao cliente, como a qualidade dos produtos, vendas, lucro, atendimentos de pedidos, tempo de produção e satisfação dos clientes; e em flexibilidade, para medir a capacidade de reação às mudanças, como o aumento da satisfação dos clientes, número de pedidos cancelados, quantidade de vendas perdidas e capacidade de reação a variação de demanda.

Por fim, Ballou (2004) afirma que a ADL deve abordar atividades logísticas divididas em 5 dimensões: transporte, armazenagem, estoques, manuseio de materiais e processamento de pedidos.

Desta forma, conclui-se que um sistema de ADL deve traduzir os objetivos da empresa e trazer informações úteis aos gestores. Este sistema deve ser dividido entre as atividades logísticas que a empresa realiza e deve trazer indicadores dentro das dimensões de custos, qualidade, produtividade, flexibilidade e tempo.

### 2.3. FERRAMENTAS MULTICRITÉRIO UTILIZADAS NA LOGÍSTICA REVERSA

Para a seleção de indicadores e para a hierarquização dos mesmos são utilizadas ferramentas de decisão multicritério – MCDM (*Multi Criteria Decision Making Methods*). Prajapati, Kant e Shankar (2019) realizaram uma pesquisa quanto ao estado da arte da LR em

janeiro de 2018. Entre as análises feitas pelos autores, eles destacaram as ferramentas de MCDM utilizadas nos artigos encontrados.

A ferramenta mais utilizada para problemas de multicritério é o *Analytic Hierarchy Process* (AHP) e o Fuzzy AHP (FAHP) (PRAJAPATI; KANT; SHANKAR, 2019). O processo de hierarquia analítica, ou AHP, desenvolvido por Thomas Saaty, utiliza a matemática simples para auxiliar tomadores de decisão. O método é composto por alternativas para a solução de um problema e os critérios que devem avaliar cada uma das alternativas. Os critérios são hierarquizados de acordo com os julgamentos dos tomadores de decisão e, desta forma, a melhor escolha pode ser selecionada (SAATY, 1990). Os julgamentos dos tomadores de decisão são coletados a partir de uma escala numérica que, de acordo com Berzins (2009), impõe uma certa inconsistência e pode alterar os resultados ao transformar a opinião verbal (preferência) em um número. Além disso, a comparação entre os critérios não é muito precisa. Como forma de superar estas limitações, alguns pesquisadores integram a lógica *Fuzzy* ao método AHP (ILGIN; GUPTA; BATTĀIA, 2015), resultando no FAHP, que é a integração da abordagem *fuzzy* na ferramenta AHP.

Apesar das vantagens de se utilizar a lógica *fuzzy*, o AHP por si só obtém sucesso devido a sua simplicidade e robustez (VARGAS, 1990), o que facilita a sua aplicação em empresas, por exemplo. Este método é comumente utilizado para a hierarquização de indicadores para os sistema de AD, ou seja, para distribuir os pesos de cada indicador conforme a opinião de especialistas ou de gestores da empresa. Na LR não é diferente, Shaik e Abdul-Kader (2012, 2013 e 2018), Xu (2017) e Wang et al. (2019) utilizam o AHP para o cálculo dos pesos das perspectivas e dos indicadores dentro de cada perspectiva.

Ainda de acordo com a pesquisa de Prajapati, Kant e Shankar (2019), as outras ferramentas mais utilizadas são o *Analytic Network Process* (ANP), que permite uma abordagem mais generalizada que o AHP, capturando a interdependência entre os critérios, o que permite uma visão mais sistemática; e o *Delphi/ Fuzzy Delphi Method* (FDM), que aparece em 6 dos 449 artigos analisados por Prajapati, Kant e Shankar (2019). Este último utiliza a opinião de especialistas para auxiliar no entendimento de alguma situação. Este tipo de metodologia vem crescendo nos últimos anos pois traz a opinião de especialistas que vivenciam as situações pesquisadas no seu dia a dia (PRAJAPATI; KANT; SHANKAR, 2019).

O Método *Delphi* foi desenvolvido por Dalkey e Helmer (1963) com o intuito de chegar a um consenso que capture a real opinião de um grupo de especialistas da melhor forma possível. Para isso os especialistas são sujeitos a uma série de questionários intercalados por

*feedbacks* do questionário anterior como forma de melhorar a opinião dos especialistas até que eles cheguem a um consenso. Os especialistas não podem interagir entre si durante a aplicação dos questionários.

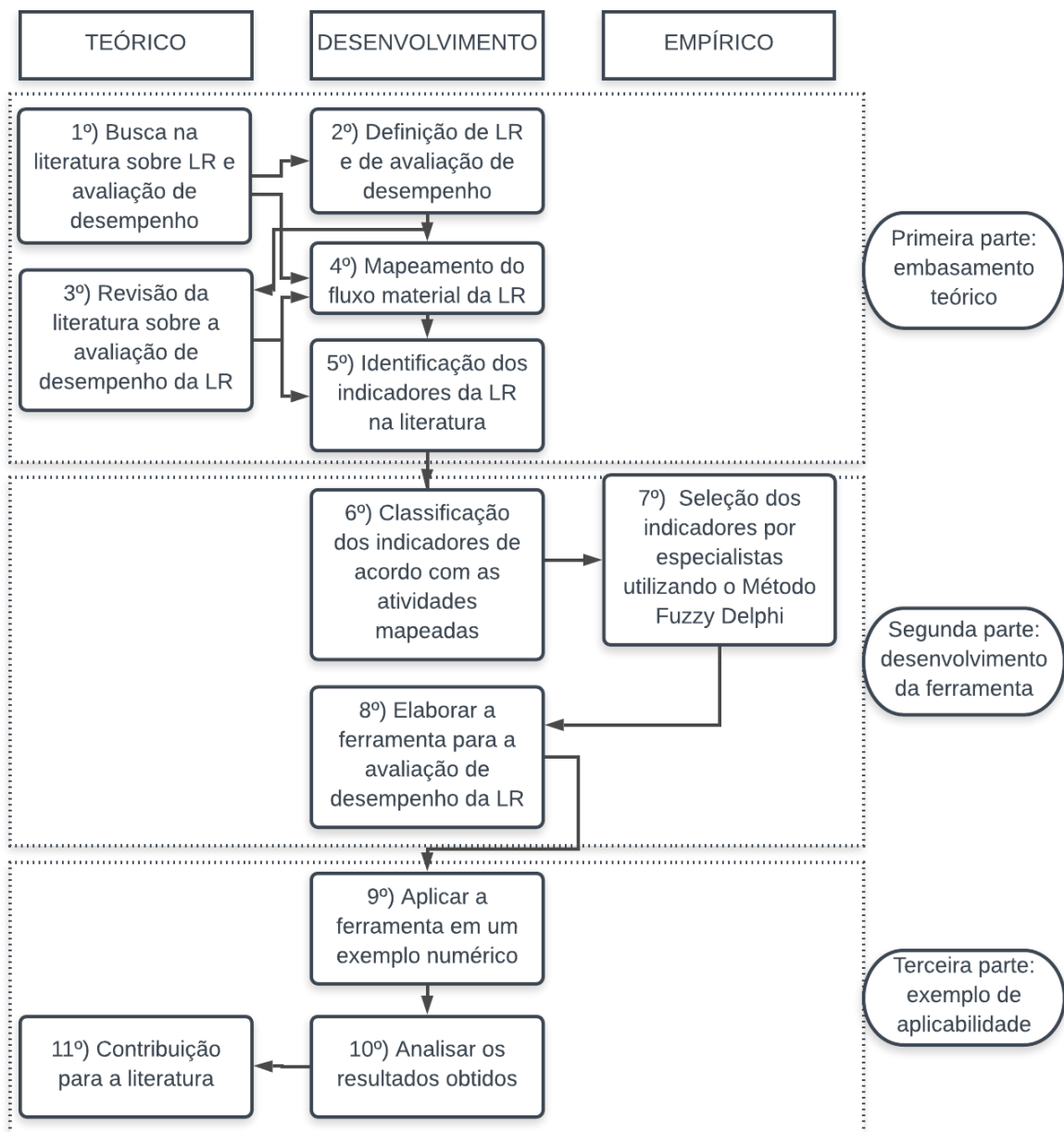
Porém, chegar a um resultado convergente nem sempre é fácil, o que dificulta a aplicação do método. Assim, Murray, Pipino e van Gigch (1985) propõem a integração da lógica *Fuzzy* com o método *Delphi*, resultando no FDM, onde apenas um questionário pode ser aplicado e a lógica *fuzzy* trata da ambiguidade na interpretação da opinião dos especialistas.

De acordo com Bouzon et al. (2016), os métodos AHP e FDM já foram aplicados juntos em estudos envolvendo cadeia de suprimentos. Na maioria dos casos, o FDM é utilizado primeiro para identificar os fatores a serem analisados e, em seguida, estes fatores são hierarquizados ou ranqueado por meio do AHP. Desta forma, os autores utilizam estes métodos para selecionar e hierarquizar as barreiras da LR no Brasil. Bui et al. (2020) também utilizaram o FDM para a identificação de barreiras da gestão de resíduos sólidos com base em informações qualitativas, mesmo caso desta pesquisa.

### **3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS**

O presente trabalho se caracteriza como uma pesquisa empírica. Um problema empírico é baseado em fatos, que podem ser medidos e comprovados (BOTELHO; CRUZ, 2013). Quanto aos objetivos, a pesquisa pode ser classificada como exploratória. Este tipo de pesquisa, de acordo com Gil (2002), tem como propósito familiarizar o pesquisador com o problema em questão, tornando-o mais explícito. Trata-se de uma pesquisa de cunho qualitativo que desenvolve uma teoria. As etapas para o desenvolvimento da mesma podem ser observadas na Figura 3.

Figura 3 - Etapas da pesquisa



Fonte: Elaborado pela autora

As etapas apresentadas na Figura 3 seguem o método de pesquisa proposto pelo Laboratório de Desempenho Logístico (LDL) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Segundo este método, a pesquisa é subdividida em três momentos: teórico, desenvolvimento e empírico.

Dentro do escopo “teórico” são realizadas as buscas na literatura para a formulação de conceitos e da base teórica da pesquisa (primeiro e terceiro passos), além de conter a contribuição para a literatura (11º passo), que é o resultado final desta pesquisa. Na coluna “desenvolvimento” são apresentados os itens desenvolvidos pela autora durante a pesquisa, que são embasados pela literatura encontrada dentro do escopo “teórico”. No sexto passo as

iniciativas encontradas na literatura (quinto passo) são classificadas dentro das atividades desenvolvidas pela LR destacadas no mapeamento da mesma (quarto passo). Ainda dentro do desenvolvimento, um exemplo numérico é utilizado para demonstrar aplicabilidade da ferramenta desenvolvida (nono passo).

A coluna “empírico” é composta pelo momento em que especialistas são consultados para selecionar os indicadores que trazem informações úteis para a gestão da LR dentro de cada atividade e dão sugestões de melhorias quanto a estes indicadores (sétimo passo).

Desta forma, as etapas da pesquisa podem ser subdivididas em três partes: o embasamento teórico (passos um ao cinco); o desenvolvimento da ferramenta em si (passos seis ao oito); e o exemplo de aplicabilidade e contribuição para a literatura (passos nove ao 11). O desenvolvimento de cada uma destas partes é apresentado nos próximos subtópicos.

### 3.1.PRIMEIRA PARTE: EMBASAMENTO TEÓRICO

Inicialmente foi realizada uma busca exploratória na literatura com o intuito de conceituar a LR e a AD. Estes conceitos foram utilizados como base teórica para esta pesquisa e, a partir deles, foi possível mapear o fluxo do processo e as atividades presentes na LR. Em seguida, por meio do instrumento *Proknow-C*, foi realizada uma busca na literatura por artigos de reconhecimento científico e alinhados ao tema central da pesquisa, a AD da LR. Esta busca teve como objetivo encontrar e analisar os trabalhos existentes dentro do tema, além de selecionar os indicadores a serem utilizados na ferramenta.

O *Proknow-C* oferece uma estrutura para a seleção de um Portfólio Bibliográfico (PB) de artigos com reconhecimento científico e prevê a análise bibliométrica e sistêmica dos mesmos (CHAVES et al., 2013). O instrumento é composto por quatro etapas, a saber (VALMORBIDA et al., 2016, p. 10):

- I. Seleção de um Portfólio Bibliográfico (PB) composto por artigos que representam um fragmento da literatura sobre o tema;
- II. Análise bibliométrica do PB;
- III. Análise sistêmica do PB; e
- IV. Identificação de oportunidades de pesquisas.

O instrumento prevê um passo a passo para a seleção do PB, primeira etapa a ser realizada, como segue (ENSSLIN et al., 2010):

- 1- Definição das palavras chaves: definição dos eixos de pesquisa, suas respectivas palavras chaves e a combinação das mesmas utilizando os operadores booleanos, formando um comando de busca;
- 2- Seleção das bases de dados: seleção das bases de dados da área a ser estudada e teste de aderência para saber qual base de dados traz maior número de resultados para as palavras chave já selecionadas;
- 3- Busca nas bases de dados definidas: busca com o comando de busca pré-definido nas bases selecionadas, com a delimitação para somente artigos, pois os mesmos tem um reconhecimento científico maior ao serem revisados por mais de um especialista;
- 4- Seleção de alguns artigos encontrados para leitura e teste de conformidade: verificação da conformidade das palavras chave utilizadas. Caso seja necessário alterar as palavras chave deve-se retornar ao primeiro passo.

Após a realização destes passos, tem-se um portfólio bruto de artigos em cada uma das bases escolhidas. Assim, inicia-se o processo de filtragem dos artigos para se chegar ao PB final, de acordo com os seguintes passos (ENSSLIN et al., 2010):

- 1- Importação de todos os artigos para o *software* EndNote®, que auxilia na gestão e seleção dos artigos;
- 2- Exclusão dos artigos repetidos, feita com o auxílio do *software* EndNote®;
- 3- Leitura dos títulos dos artigos e exclusão dos que não se enquadram ao tópico da pesquisa;
- 4- Separação dos artigos atuais (publicados nos últimos 2 ou 3 anos) e seleção dos demais de acordo com a sua relevância científica (maior número de citações). Somente os artigos atuais e os antigos mais citados passam para a próxima etapa, os demais são colocados em um repositório de espera;
- 5- Leitura dos resumos dos artigos selecionados no passo 4 e exclusão dos que não se enquadram ao tópico da pesquisa;
- 6- Identificação dos autores dos artigos selecionados no tópico 5, estes autores possuem pesquisas alinhadas ao tema e relevantes, desta forma verifica-se se algum destes autores possui alguma pesquisa dentro do repositório de espera criado no passo 4. Caso tenha, estes artigos deverão passar pelo passo 5 e, caso sejam selecionados, se juntam aos demais para o passo 7.
- 7- Verificação da disponibilidade dos artigos na íntegra para leitura e exclusão dos não encontrados; e

8- Leitura integral dos artigos e verificação do alinhamento do mesmo com o tema da pesquisa e exclusão dos não alinhados.

Após estes oito passos tem-se o PB final dos artigos, onde pode-se iniciar a análise deste material. Esta pesquisa não abrange a terceira etapa do *Proknow-C*, a análise sistêmica do PB.

Com base nos estudos encontrados nas buscas, foi possível mapear o fluxo material da LR, onde são destacadas as atividades desenvolvidas no processo reverso. A partir dos artigos que compõem o PB, foram identificados e selecionados os principais indicadores para avaliar a LR.

### 3.2.SEGUNDA PARTE: DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA

Após a análise dos artigos encontrados, foi possível mapear as atividades da LR e descrevê-las, de forma a entender melhor cada processo. Então, foram retirados da literatura indicadores para cada uma destas atividades e o FDM foi aplicado. Seguindo a aplicação do método, foram consultados especialistas na área para a seleção dos indicadores da literatura com o intuito de se obter indicadores de maior relevância para compor a ferramenta. Foram contactados gerentes de logística que trabalham com logística reversa, professores e pesquisadores da área, todos de conhecimento prévio da pesquisadora, para compor o grupo de especialistas. Para esta consulta, foi utilizado um questionário estruturado onde os especialistas deveriam marcar o grau de importância de cada indicador em uma escala de 1 a 5: 1 – sem importância; 2 – pouco importante; 3 – razoavelmente importante; 4 – importante; e 5 – muito importante. O corpo de especialistas contactados é composto por 6 membros do meio acadêmico (professores e pesquisadores) e 3 especialistas atuantes na indústria.

A aplicação do FDM foi realizada de acordo com Ma et al. (2011), Bouzon et al. (2016) e Bui et al. (2020). Inicialmente os indicadores foram selecionados da literatura e uma escala de termos linguísticos foi determinada para a seleção dos indicadores para ser utilizada no questionário aplicado com os especialistas (grau de importância de 1 a 5). Estes valores precisam ser triangularizados para se tornarem números *fuzzy*.

Assim, o número triangular *fuzzy* do indicador  $i$  é representado como  $\tilde{a}_i = (x_i; y_i; z_i)$ , onde:

$i = 1, 2, 3, \dots, n$  e  $n$  é o número total de indicadores (54);

$j = 1, 2, 3, \dots, m$  com  $m$  igual ao número total de especialistas (9);

$x_i = \min(B_{ij})$ , ou seja, o valor mínimo de classificação de todos os especialistas para o indicador  $i$ ;

$y_i = (\prod_{i=1}^n B_{ij})^{1/n}$ , a média geométrica de classificação de todos os especialistas para o indicador  $i$ ;

$z_i = \max(B_{ij})$ , o valor máximo de classificação de todos os especialistas para o indicador  $i$ ;

$B_{ij}$  é o valor de avaliação do  $j$ -ésimo especialista para o indicador  $i$ .

Para a seleção dos indicadores, é necessário que um valor limite  $\tilde{a}$  seja estabelecido. Este valor pode ser calculado pela média de todos os valores  $\tilde{a}_j$ . Assim, o princípio para a triagem é:

Se  $\tilde{a}_i \geq \tilde{a}$  o indicador  $j$  é selecionado;

Se  $\tilde{a}_i < \tilde{a}$  o indicador  $j$  é eliminado.

Com o intuito de respeitar as particularidades de cada atividade, foi calculado um valor para  $\tilde{a}_j$  para cada atividade.

Para isso é necessário que os números *fuzzy* sejam transformados em valores precisos (*crisp numbers*). O método de centro de área foi utilizado por Hsieh, Lu e Tzeng (2004) por ser simples e prático. O valor defuzzificado de cada avaliação é dado por  $G_i$ , apresentado na Equação 1:

$$G_i = \frac{(z_i - x_i) + (y_i - x_i)}{3} + x_i \quad \text{Eq. (1)}$$

### 3.3. TERCEIRA PARTE: EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Como forma de demonstrar a aplicabilidade dos indicadores definidos e da ferramenta como um todo, um exemplo numérico foi desenvolvido simulando uma empresa que realiza LR.

Inicialmente, foram definidas as atividades desenvolvidas pela empresa fictícia e, então, o método AHP foi aplicado a hierarquização dos indicadores. A aplicação do AHP ocorre por meio dos seguintes passos (WIND; SAATY, 1980; SAATY, 1990; CHENG; LI, 2001; SINGH, 2013):

- Inicialmente o problema deve ser transformado em uma hierarquia, onde ele se divide em diversos elementos, também chamados de critérios, que se dividem em demais elementos, chamados de subcritérios. Assim, a complexidade do



problema é reduzida e é possível identificar todos os elementos que influenciam no problema;

- Em seguida, os tomadores de decisão devem analisar os critérios e os subcritérios em uma comparação par a par. Cada par é avaliado separadamente da seguinte forma: dados os critérios (ou subcritérios) A e B, qual deles melhor contribui para o problema e quanto melhor? Para esta comparação, é utilizada uma escala de importância de um a nove conforme o Quadro 1. Os valores de importância de cada critério formam uma matriz de decisão, onde a primeira linha e a primeira coluna representam o primeiro critério, a segunda linha e a segunda coluna representam o segundo critério e assim sucessivamente. A diagonal da matriz, ou seja, onde os mesmos critérios se encontram, possui a intensidade de importância um, pois como os critérios são iguais eles contribuem igualmente para o objetivo. A comparação acontece na parte inferior desta diagonal. Se o elemento A dominar o elemento B, um número inteiro de acordo com sua intensidade de domínio será inserido na linha A, coluna B. Um valor recíproco, ou seja, o inverso ( $1/n$ ), será inserido na linha B, coluna A. Desta forma, a parte inferior da diagonal é preenchida pelos tomadores de decisão e a parte superior será automaticamente preenchida com os valores inversos correspondentes de cada elemento.

Quadro 1 - Escala de importância do AHP

<b>Intensidade de importância</b>	<b>Definição</b>	<b>Explicação</b>
<b>1</b>	Mesma importância	Os dois elementos contribuem igualmente para o objetivo
<b>3</b>	Importância pequena de uma sobre a outra	Experiência e juízo favorecem levemente uma atividade com relação à outra
<b>5</b>	Importância grande ou essencial	Experiência e juízo favorecem fortemente uma atividade com relação à outra
<b>7</b>	Importância grande ou demonstrada	Uma atividade é muito fortemente favorecida, sendo sua dominância evidenciada na prática
<b>9</b>	Importância absoluta	A evidência favorecendo uma das atividades é a maior possível, com o mais alto grau de segurança

2, 4, 6, 8	Valores intermediários	Quando é necessário uma relação de compromisso entre duas definições.
<b>Recíprocos dos números acima</b>	Se a atividade $i$ possui um dos números acima, quando comparada com a atividade $j$ , a atividade $j$ possuirá o valor inverso quando comparada a $i$ .	
Fonte: Traduzido de Wind e Saaty (1980).		

- A partir da matriz de decisão é possível calcular as prioridades de cada critério (ou subcritério). Este valor também é chamado de vetor prioridade ou Vetor de Eigen (VE). Para o seu cálculo, é necessário normalizar cada a coluna de elementos. Esta normalização ocorre pela divisão de cada valor da coluna pela soma de todos os valores da coluna. O mesmo é feito para todas as colunas da matriz de decisão. Em seguida, cada linha dos valores normalizados é somada e dividida pelo número de colunas, ou seja, é feita uma média dos valores de cada linha. O valor resultante é o VE, ou o peso de cada critério correspondente a cada linha.
- O último passo do método é o cálculo do grau de consistência das respostas para validar o resultado. A Taxa de Consistência (TC) avalia a consistência das respostas dos tomadores de decisão. Para uma matriz 3 por 3, essa proporção deve ser de cerca de 5% (0,05), para uma matriz de 4 por 4, cerca de 8% (0,08), e para matrizes maiores, cerca de 10% (0,1). Se os valores de TC são menores que os determinados acima, os resultados são validos. Para o cálculo de TC, é necessário se obter o valor do Índice de Consistência (IC). Inicialmente o VE correspondente ao critério A é multiplicado pela soma da coluna A. O mesmo é feito para todos os critérios e então todos estes valores são somados, resultando em um valor  $\alpha$ . Assim, IC é dado pela Equação 2, onde  $n$  é o número de critérios da matriz de decisão.

$$IC = \frac{(\alpha - n)}{(n-1)} \quad \text{Eq.(2)}$$

A TC é dada pela Equação 3:

$$TC = \frac{IC}{ICA} \quad \text{Eq.(3)}$$

Onde ICA é o Índice de Consistência Aleatório dado em função do número de critérios conforme o Quadro 2. Quando a matriz tem tamanho de  $n=1$  ou  $2$  o

ICA é zero, o que impossibilita o cálculo de TC. Porém, quando só se tem um ou dois critérios não é possível haver inconsistência nos resultados e esta checagem se não é necessária.

Quadro 2 - Índice de consistência aleatório conforme o tamanho da matriz de decisão

Tamanho da matriz (n)	1 ou 2	3	4	5	6	7	8	9
ICA	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45

Fonte: Cheng e Li (2001)

A aplicabilidade da ferramenta foi discutida a partir dos resultados deste exemplo e, ao final, foram apresentadas as conclusões da autora quanto ao trabalho realizado.

## 4. RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos na pesquisa. Inicialmente foi realizada a busca na literatura e os artigos encontrados foram analisados. Eles são a base para a construção dos demais resultados. Em seguida, um mapeamento das atividades desenvolvidas pela LR é apresentado e são identificados na literatura indicadores para cada uma das atividades destacadas. O FDM é aplicado para a seleção destes indicadores e a ferramenta é então desenvolvida e apresentada. Por fim, um exemplo numérico simulando uma empresa fictícia é apresentado para demonstrar a aplicabilidade da ferramenta.

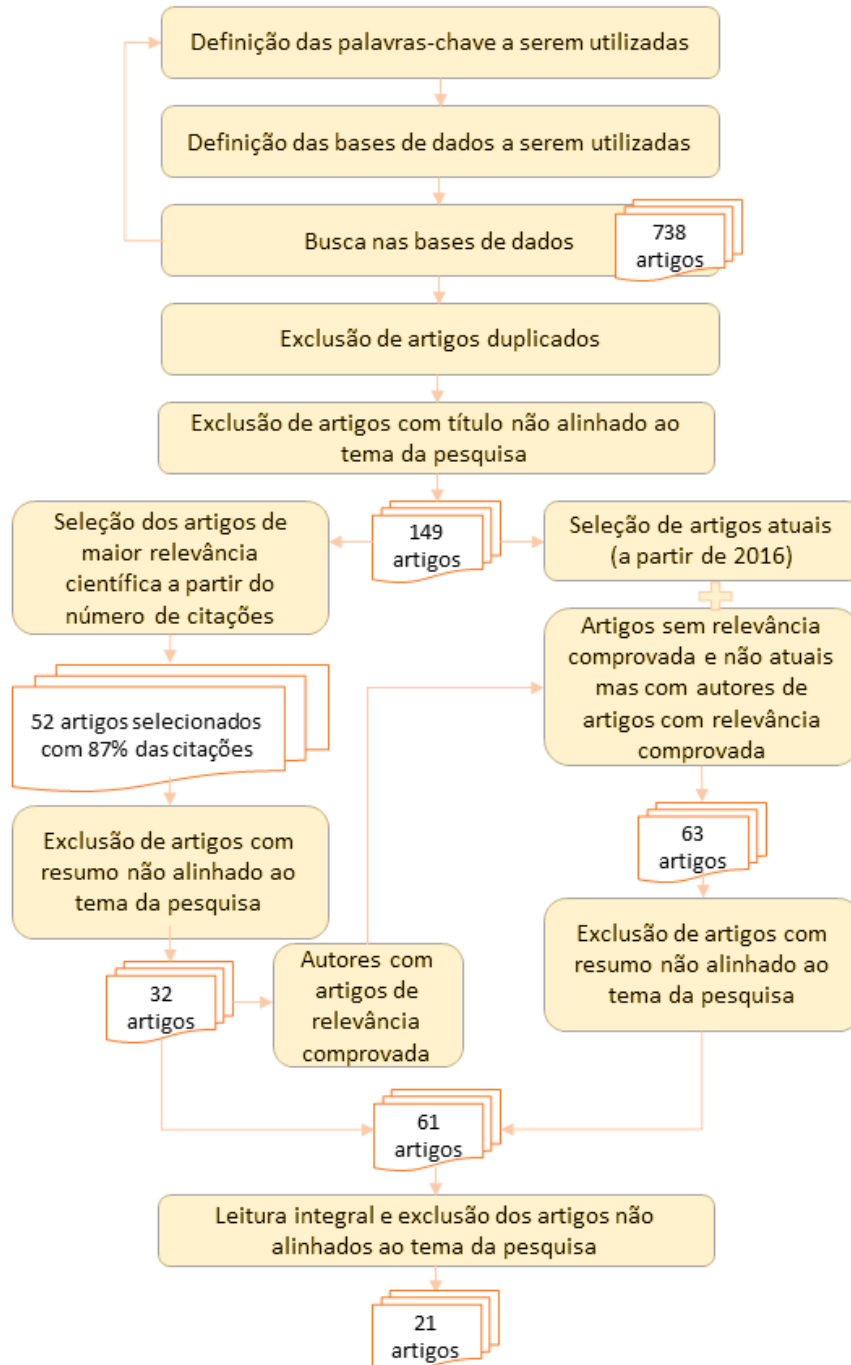
### 4.1. ANÁLISE DA LITERATURA

Para a seleção do PB, seguindo os passos pré-estabelecidos pelo instrumento *Proknow-C*, inicialmente definiram-se as palavras-chave utilizadas nos eixos de busca a partir de artigos científicos já conhecidos pelos autores a respeito da AD e de LR. Estas palavras foram testadas em bases de dados e, por meio da análise dos resultados, foram complementadas. As bases de dados utilizadas foram *Scopus*, *Web of Science* e *Science Direct*, por serem as bases com maior número de retornos para o tema. O comando de busca utilizado compreende os eixos de AD e LR combinados com os operadores booleanos e palavras-chave na língua inglesa. O objetivo da busca é capturar artigos publicados em periódicos científicos com alguma das palavras-chave presente no título, e/ou no resumo e/ou nas palavras-chaves do autor. Desta forma, o comando de busca utilizado na *Scopus* e na *Science Direct* foi o seguinte: *((evaluat\* OR assess\* OR manag\* OR measur\* OR indicat\*) AND performance) AND ({reverse logistic} OR {reverse logistics} OR {inverse logistic} OR {inverse logistics} OR {reverse supply chain} OR {reverse supply chains} OR {inverse supply chain} OR {inverse supply chains} OR {closed loop supply chain} OR {closed loop supply chains})*. Para a base *Web of Science* o comando utilizado foi: *((evaluat\* OR assess\* OR manag\* OR measur\* OR indicat\*) AND performance) AND ("reverse logistic" OR "reverse logistics" OR "inverse logistic" OR "inverse logistics" OR "reverse supply chain" OR "reverse supply chains" OR "inverse supply chain" OR "inverse supply chains" OR "closed loop supply chain" OR "closed loop supply chains")*. A busca foi realizada no dia 28 de março de 2018 e teve como retorno 738 documentos.

Os artigos foram importados para o *software* EndNote®, um instrumento que auxilia na gestão dos documentos e possibilita a retirada de artigos duplicados e publicados em anais de eventos ou capítulos de livros, já que o foco são artigos científicos revisados por pares, ou

seja, publicados em periódicos. Desta forma, os artigos foram selecionados de acordo com a Figura 4, que apresenta as etapas do *Proknow-C* aplicadas no portfólio de artigos brutos.

Figura 4 - Seleção dos artigos brutos



Fonte: Elaborado pela autora

As etapas realizadas selecionaram 21 artigos com reconhecimento científico e alinhados ao tema da pesquisa. Na última etapa, foram excluídos artigos que propõem um novo

design para o fluxo reverso com o intuito de melhorar o desempenho da LR, mas não avaliam o desempenho para comprovar a sua efetividade; e artigos com modelos de viabilidade para a escolha de atividades a serem terceirizadas ou produtos a serem retornados. Em novembro de 2019, foi realizada uma nova busca com o intuito de atualizar o PB. Desta forma, foram utilizados os mesmos comandos de busca nas mesmas bases de dados, com os mesmos filtros e acrescentando o filtro de tempo, limitado a partir de 2018. Assim, foram encontrados um total de 34 artigos publicados depois do 2018 até o dia da busca. Estes artigos passaram pelo mesmo processo de seleção do PB anterior, conforme a Figura 5, que resultou em apenas 1 artigo alinhado ao tema.

Figura 5 - Atualização do PB



Fonte: Elaborado pela autora

Desta forma, o PB final desta pesquisa é composto por 23 artigos.

#### 4.1.1. Bibliometria

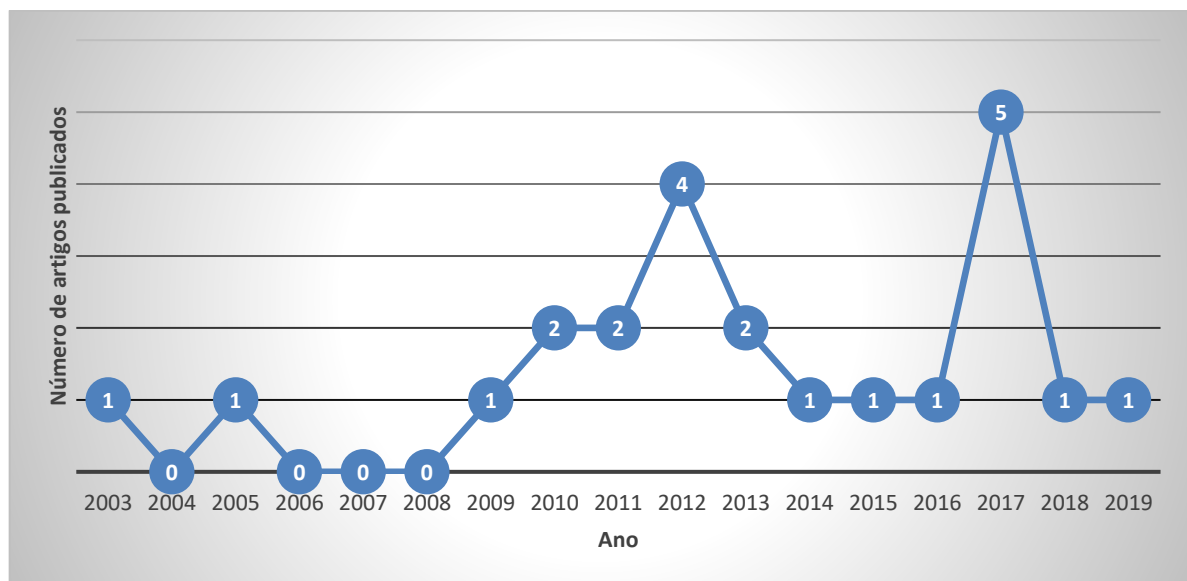
Ao analisar os 23 documentos selecionados, é possível perceber, na Figura 6, que o número de publicações vem crescendo ao longo dos anos e passou por dois picos de publicações: em 2012 e em 2017. A primeira publicação encontrada, de Tan, Yu e Arun (2003), resulta da necessidade de melhora a eficiência da Logística Reversa (LR) em uma empresa asiática. Em 2005, Daugherty et al. demonstraram como a tecnologia da informação e a destinação correta dos recursos pode impactar positivamente no desempenho das organizações. Esta pesquisa tem seu foco na gestão da AD e é o artigo com maior número de citações do portfólio. Não foram encontradas publicações sobre o assunto entre os anos de 2006 e 2008.

A partir de 2009 até atualmente, a crescente preocupação com a sustentabilidade das organizações, principalmente na questão ambiental, fez com que muitas empresas implementassem a LR (OLUGU; WONG, 2012), com o intuito de atender as exigências legislativas e dos clientes para se manterem competitivas no mercado (HERNÁNDEZ;

MARINS; CASTRO, 2012). Este cenário elevou a importância das práticas reversas (SHAIK; ABDUL-KADER, 2012; BUTZER et al., 2017) e a preocupação com a sua eficiência para que seus benefícios sejam percebidos e ampliados (SKAPA; KLAPALOVÁ, 2012). Desta forma, a AD poderia auxiliar as empresas na gestão da LR, possibilitando melhorias nos processos e o aumento na competitividade, o que gerou um pico de publicações no ano de 2012.

O crescente número de pesquisas em 2017 é resultado das mudanças que vem ocorrendo no mercado mundial devido a globalização (XU, 2017), a preocupação com o crescente uso de recursos naturais não renováveis (PANDIAN; ABDUL-KADER, 2017), onde surgiram as cadeias de ciclo fechado que buscam pela reutilização de produtos em fim de vida e a LR é responsável pelo retorno destes produtos (WIBOWO; GRANDHI, 2017), e ao aumento da implementação das práticas verdes dentro das empresas (SANGWAN, 2017), onde a LR se encaixa ao retornar os produtos para que estes tenham uma destinação ambientalmente correta.

Figura 6 - Artigos publicados por ano



Fonte: Elaborado pela autora

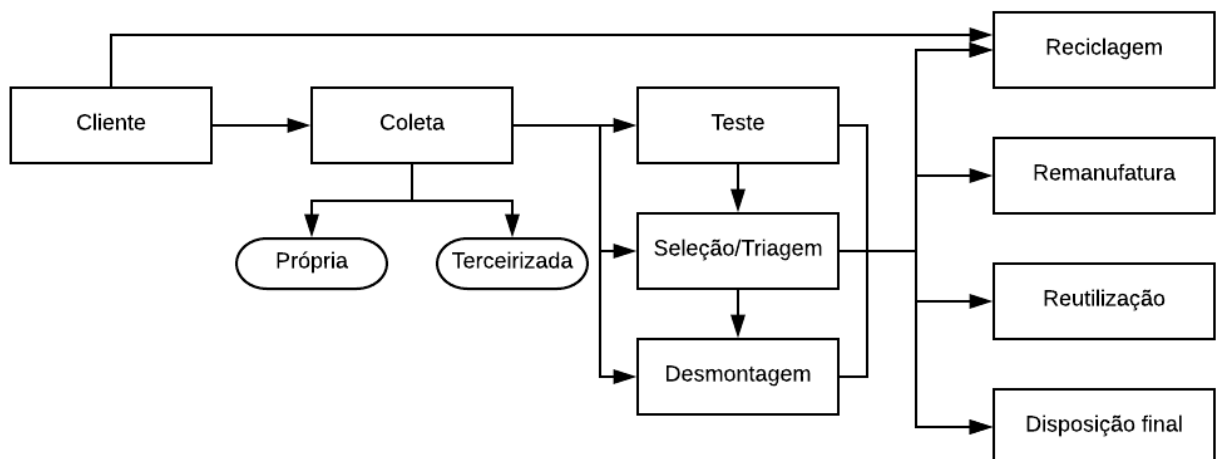
A maior parte das pesquisas realizadas envolve a formulação de um sistema de AD e/ou de indicadores a partir da literatura e uma posterior aplicação por meio de estudos de caso ou *surveys*, o que caracteriza 68% dos artigos como teóricos e empíricos. O estudo de caso também foi utilizado em alguns artigos empíricos, que representam 12% das publicações, e apresentam o desenvolvimento de indicadores e da AD a partir da prática em empresas.

Estes 23 artigos selecionados para o PB e acima analisados são apresentados no Apêndice A e são a base para os demais tópicos desta pesquisa, descritos abaixo.

#### 4.2.MAPEAMENTO DA LR DE PÓS CONSUMO

Com base na literatura estudada e selecionada para esta pesquisa, foi possível destacar as atividades desenvolvidas pela LR de pós consumo e mapear o fluxo reverso com as diversas opções disponíveis para o retorno. Na seção 2.2, estas atividades foram destacadas por diversos autores. Para esta pesquisa, foram selecionadas as principais atividades desenvolvidas pelas empresas que praticam LR e resumidas em um fluxo demonstrado na Figura 7.

Figura 7 - Mapeamento da LR de pós consumo



Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com Trappey, Trappey e Wu (2010), a LR deve atender tanto às expectativas do *stakeholders* quanto à legislação vigente. No Brasil, a principal legislação envolvendo a LR é a PNRS. Para se adequar a esta política, as empresas que estão dentro do escopo de materiais que devem ser retornados e terem um tratamento ambientalmente adequado, devem seguir uma determinada meta. Desta forma, nem sempre retornar apenas os produtos por ela produzidos é uma opção. Algumas empresas podem manter parcerias com os seus clientes, para que os mesmos retornem os produtos no fim da sua vida útil. Ainda como forma de conseguir demanda para os processos reversos, pode-se selar parcerias com recicladoras ou outras empresas, varejistas ou distribuidoras, para que enviem os produtos em fim de vida.



Olugu, Wong e Shaharoun (2011) destacam a importância de envolver os clientes na gestão da LR, pois quem inicia este processo reverso é o consumidor final. Para isso, o mesmo deve ser motivado e incentivado a iniciar este processo. A empresa que deseja recuperar algum produto pode promover campanhas e promoções para incentivar esta devolução, bem como, realizar parcerias com varejistas e/ou distribuidores para a implementação de pontos de coleta destes produtos ou parcerias com recicladoras ou empresas de coleta de resíduos.

A coleta, ou o transporte dos materiais retornados, faz a ligação física entre os clientes, os fornecedores, os centros de processamento, o armazém, e todos os membros da cadeia envolvidos (SHAIK; ABDUL-KADER, 2013). Esta coleta pode ser realizada por veículo próprio ou de forma terceirizada. A empresa pode utilizar o fluxo da logística tradicional para a coleta dos produtos, ou seja, na mesma viagem em que é realizada a entrega dos produtos, também é feita a coleta dos produtos retornados. Outra forma é realizar uma viagem somente para a coleta dos materiais ou terceirizar esta coleta com transportadoras contratadas ou por meio de parcerias com seus clientes. De acordo com Shaik e Abdul-kader (2013), um sistema de transporte precisa ser desenhado, dimensionado, organizado, configurado e agendado para que possa executar os transportes solicitados dentro do espaço, tempo e restrições técnicas pré-estabelecidos no menor custo possível.

Quando o produto retorna para a indústria, a mesma pode recebê-los em seu centro de distribuição ou diretamente na empresa. Os produtos retornados podem ser previamente selecionados no seu ponto de coleta ou quando chegam a empresa podem passar por um processo de teste e seleção, para então receberem uma destinação dentro do processo produtivo. Os testes e a classificação podem acontecer de forma manual ou automatizada, inicialmente classificando o produto quanto a sua qualidade (boa, moderada ou ruim) e então quanto a sua destinação (PANDIAN; ABDUL-KADER, 2017). Dependendo do tipo de produto e da destinação que ele irá receber, ele deve passar previamente por uma etapa de desmontagem, e então seus componentes podem seguir para a próxima etapa.

Dentre as destinações possíveis, o produto retornado pode ser:

- Reciclado, dentro da empresa ou por alguma recicladora;
- Remanufaturado;
- Reutilizado; ou
- Enviado para uma destinação final ambientalmente correta.

Este mapeamento mostra os diversos caminhos que uma empresa pode seguir para realizar a LR dos seus produtos, a empresa, portanto, pode realizar todas as atividades citadas

ou apenas parte delas. Cada atividade logística realizada requer um tipo de indicador para avaliar o desempenho da empresa em cada etapa do fluxo reverso.

### 4.3. INDICADORES DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DA LR

Conforme descrito no item anterior, cada atividade logística tem suas particularidades e necessita de indicadores próprios para que sejam avaliadas corretamente. Como já destacado por Neely, Gregory e Platts (2005), os indicadores devem considerar estas particularidades e não serem gerais para todas as partes da empresa. De encontro a isso, no modelo proposto por Pandian e Abdul-Kader (2017), ou autores separam cada atividade envolvida no retorno de celulares em agentes separados, por meio da simulação baseada em agentes, o que permitiu a avaliação e análise, neste caso, de cada "parte da LR", em separado e, assim, as melhorias podem ser melhor direcionadas. Sangwan (2017) destaca que a LR possui três atividades principais: coleta, inspeção e recuperação do produto. Desta forma o autor analisa cada uma delas e propõe indicadores para avaliar cada atividade considerando as suas particularidades. Nikolaou, Evangelinos e Allan (2013) separam seus indicadores de responsabilidade social baseados no *Global Reporting Initiative* (GRI) em atividades, porém, eles não tem grande utilidade prática na avaliação da LR em si e são voltados para a avaliação da sustentabilidade da empresa como um todo. Os demais artigos selecionados trazem indicadores mais gerais para a LR, selecionados em perspectivas ou voltados para a realidade de alguma empresa.

Shaik e Abdul-kader (2012 e 2014) em suas pesquisas inicialmente selecionaram os principais drivers da LR e, a partir deles, desenvolveram os indicadores utilizados nos frameworks. Os autores também iniciam selecionando as perspectivas a serem avaliadas e, então, os objetivos e metas de cada perspectiva são transformados em indicadores. Seguindo esta mesma linha, nesta pesquisa as atividades destacadas no mapeamento da seção anterior servem como base da ferramenta de AD, são elas: relacionamento com os clientes; coleta; teste e inspeção; classificação; desmontagem; reciclagem; remanufatura; reutilização; e disposição final. Partindo das principais funções desempenhadas em cada atividade, os indicadores encontrados na literatura podem ser classificados dentro delas. Estes indicadores não foram alterados, estão descritos abaixo conforme foram encontrados na literatura.

#### 4.3.1. Indicadores para o relacionamento com os clientes

A primeira atividade destacada no mapeamento é o relacionamento com os clientes. Esta atividade é de grande importância, pois são os clientes que iniciam o retorno dos produtos e a sua participação é fundamental para o bom funcionamento da LR.

Olugu, Wong e Shaharoun (2011) e Olugu e Wong (2012) separam seus indicadores em diversas áreas da LR, entre elas o envolvimento do consumidor. Shaik e Abdul-kader (2012, 2013, 2014 e 2018), Butzer et al. (2017) dividem seus indicadores em perspectivas, entre elas a dos stakeholders, onde a satisfação dos clientes é citada, bem como Mimouni e Abouabdellah (2016), que tem indicadores para um caso específico de uma indústria, e um deles é a taxa de reclamação dos clientes: clientes que reclamaram/total de clientes. Shaik e Abdul-kader (2012, 2014 e 2018), em suas pesquisas, também separam os indicadores em perspectivas e citam a imagem corporativa como indicador da perspectiva social.

Sangwan (2017) possui indicadores para as três principais atividades da LR: coleta, inspeção e recuperação do produto. O relacionamento com os clientes está dentro dos indicadores de coleta. Já Xu (2017) traz indicadores voltados para o relacionamento com os clientes e Wibowo e Grandhi (2017) e Pochampally et al., (2009) propõem indicadores mais gerais, entre eles encontram-se alguns voltados para os consumidores. Hernández, Martins e Castro (2012) separam seus indicadores em Programas de LR, como Programas de Imagem e Programas de Serviço ao Cliente.

Alguns destes indicadores podem ser reagrupados pois trazem a mesma informação final. Desta forma, os indicadores para avaliar o relacionamento com os clientes são:

- Imagem verde (POCHAMPALLY et al., 2009; SKAPA; KLAPALOVA, 2012; SHAIK; ABDUL-KADER, 2012, 2014 e 2018). O objetivo deste indicador é medir a reputação da empresa e a imagem geral entre o público comum. Saber se as despesas relacionadas a imagem verde e incentivo ao retorno dos produtos estão dando retorno financeiro. Ele pode ser avaliado de acordo com a Equação 4.

$$\text{Imagem verde} = \frac{\text{Despesas ambientais incorridas}}{\text{Receita com a LR}} \quad \text{Eq. (4)}$$

- Nível de cooperação dos consumidores em devolver o produto (Taxa de retorno por parte dos clientes) (POCHAMPALLY et al., 2009; OLUGU; WONG; SHAHAROUN, 2011; OLUGU; WONG, 2012; HERNÁNDEZ; MARTINS;

CASTRO, 2012; MIMOUNI; ABOUABDELLAH, 2016; WIBOWO; GRANDHI, 2017). O objetivo é medir a cooperação dos clientes perante o incentivo para retornar os produtos. É necessário considerar que os produtos possuem um tempo de vida útil e não se pode esperar que o número de retornos seja igual ao número de produtos produzidos. Por exemplo, um produto que possui 10 anos de vida útil é retornado em 2019, porém ele foi vendido em 2009 e pode ter sido produzido ainda antes. Este indicador pode ser avaliado, então, pelo número de produtos que retornaram no ano X pelo número de produtos que foram vendidos no ano X menos o tempo de vida útil deste produto, conforme a Equação 5. Utilizando o exemplo anterior, ficaria o número de produtos retornados em 2019 pelo número de produtos vendidos em 2009 (2019 – 10 anos de vida útil).

*Cooperação dos consumidores =*

$$\frac{\text{N}^\circ \text{ de produtos retornados no ano X}}{\text{N}^\circ \text{ de produtos vendidos no ano X} - \text{média do tempo de vida útil}} \quad \text{Eq.(5)}$$

- Nível de entendimento sobre os processos reversos por parte dos consumidores e disseminação da informação (POCHAMPALLY et al., 2009; OLUGU; WONG; SHAHAROUN, 2011; OLUGU; WONG, 2012). O objetivo é medir o conhecimento por parte dos consumidores a respeito dos processos da LR da empresa. Ele pode ser avaliado pela porcentagem de clientes que tem conhecimento da LR, conforme a Equação 6.

$$\text{Entendimento dos processos} = \frac{\text{Clientes que tem conhecimento da LR}}{\text{Total de clientes}} \quad \text{Eq. (6)}$$

- Nível de interesse dos consumidores por produtos verdes (POCHAMPALLY et al., 2009; WIBOWO; GRANDHI, 2017). O objetivo é medir a procura por produtos verdes, aqui entendidos como produtos que possam ser retornados ou que tenham componentes reaproveitados na sua composição. Este indicador pode ser avaliado pela porcentagem de clientes que pedem por produtos verdes, conforme a Equação 7.

$$\text{Interesse dos consumidores} = \frac{\text{Clientes que pedem por produtos verdes}}{\text{Total de clientes}} \quad \text{Eq. (7)}$$

- Satisfação do cliente (SHAIK; ABDUL-KADER, 2012, 2013, 2014 e 2018; MIMOUNI; ABOUABDELLAH, 2016; BUTZER et al., 2017; SANGWAN, 2017; XU, 2017). O objetivo é medir a qualidade dos serviços prestados e a satisfação dos clientes. Este indicador é apresentado na Equação 8.

$$\text{Satisfação do cliente} = \frac{\text{Total de reclamações}}{\text{Total de transações de retorno}} \quad \text{Eq. (8)}$$

- Relações duradouras com os clientes (HERNÁNDEZ; MARTINS; CASTRO, 2012). O objetivo é medir a duração do relacionamento com os clientes e das parcerias realizadas. Também é uma forma de avaliar a qualidade dos serviços prestados e a satisfação dos clientes, pois se o relacionamento é duradouro significa que o cliente está satisfeito com o serviço prestado. Este indicador é apresentado na Equação 9.

$$\text{Relações com os clientes} = \frac{\text{Parcerias desfeitas com os clientes}}{\text{Total de parcerias com os clientes}} \quad \text{Eq. (9)}$$

- Serviços diferenciados (HERNÁNDEZ; MARTINS ; CASTRO, 2012). O objetivo é medir a fidelização dos clientes e se as formas de retorno estão bem definidas. Este indicador é apresentado na Equação 10.

$$\text{Serviços diferenciados} = \frac{\text{Nº de clientes fidelizados}}{\text{Nº total de clientes}} \quad \text{Eq. (10)}$$

#### 4.3.2. Indicadores para coleta

Após o cliente devolver o produto é necessário que o mesmo seja transportado até a empresa. Este transporte, aqui chamado de coleta, pode acontecer por meio dos veículos da empresa ou de forma terceirizada. Em alguns casos os consumidores podem devolver os produtos diretamente na empresa e a atividade de coleta nem acontece.

De acordo com Pandian e Abdul-Kader (2017), a atividade de coleta deve ser realizada de maneira segura e eficiente em termos de custo e tempo. Para os autores, uma inspeção prévia dos produtos deve ser feita antes do transporte. Desta forma, os autores separam o agente coletor como responsável pela atividade de coleta e propõem indicadores específicos para esta atividade. Sangwan (2017) também prioriza esta atividade e separa indicadores específicos para a coleta.

Shaik e Abdul-kader (2013) tem a atividade de transporte da LR como foco principal de sua pesquisa e o modelo proposto pelos autores traz apenas indicadores para o transporte. Os demais autores que trazem indicadores mais gerais também citam a atividade de transporte em alguns indicadores. Desta forma, os indicadores para avaliar a coleta dos produtos são:

- Capacidade de transporte (SHAIK; ABDUL-KADER, 2012, 2013, 2014 E 2018). O objetivo é medir a capacidade de transporte da empresa e saber se a capacidade atual é suficiente para atender a demanda ou não. Este indicador é apresentado na Equação 11.

$$\text{Capacidade de transporte} = \frac{\text{Volume que o veículo pode transportar}}{\text{Volume total de produtos a serem transportados}} \quad \text{Eq. (11)}$$

- Capacidade de TI (SHAIK; ABDUL-KADER, 2013). O objetivo é avaliar as tecnologias utilizadas na comunicação e disseminação das informações relacionadas ao transporte. O indicador é apresentado na Equação 12.

$$\text{Capacidade de TI} = \frac{\text{Total de falhas no transporte devido a falhas de TI}}{\text{Total de falhas no transporte}} \quad \text{Eq. (12)}$$

- Capacitação dos recursos humanos (SHAIK; ABDUL-KADER, 2013). O objetivo é avaliar o conhecimento dos colaboradores da área de transporte quanto aos treinamentos fornecidos pela empresa. O indicador é apresentado na Equação 13.

$$\text{Capacitação} = \frac{\text{Funcionários que tiveram treinamento}}{\text{Total de funcionários}} \quad \text{Eq. (13)}$$

- Comunidade (SHAIK; ABDUL-KADER, 2013). O objetivo é avaliar o impacto das atividades de transporte na comunidade. O indicador é apresentado na Equação 14.

$$\text{Comunidade} = \frac{\text{N}^\circ \text{ de reclamações no período atual}}{\text{N}^\circ \text{ de reclamações no período anterior}} \quad \text{Eq. (14)}$$

- Confiabilidade no transporte (POCHAMPALLY et al., 2009). O objetivo é medir a confiabilidade da coleta dos produtos nas datas combinadas com os clientes. O indicador é apresentado na Equação 15.

$$\text{Confiabilidade} = \frac{\text{Quantidade de produtos coletados até a data combinada}}{\text{Quantidade total de produtos coletados}} \quad \text{Eq. (15)}$$

- Conformidade ambiental (SHAIK; ABDUL-KADER, 2013). O objetivo é avaliar se todas as regulamentações ambientais estão sendo cumpridas. O indicador é apresentado na Equação 16.

$$\text{Conformidade ambiental} = \frac{\text{Regulamentações ambientais cumpridas}}{\text{Total de regulamentações ambientais}} \quad \text{Eq. (16)}$$

- Controle de emissões de poluentes (SHAIK; ABDUL-KADER, 2013; BUTZER et al., 2017; SANGWAN, 2017; WANG et al., 2019). O objetivo é controlar as emissões de poluentes durante o transporte e comparar durante períodos de tempo para controlar se estas emissões estão diminuindo ou não. O indicador é apresentado na Equação 17.

$$\text{Emissão de poluentes} = \frac{\text{Emissão no período atual}}{\text{Emissão no período anterior}} \quad \text{Eq. (17)}$$

- Custo de Transporte (OLUGU; WONG; SHAHAROUN, 2011, SKAPA; KLAPALOVA, 2012; SHAIK; ABDUL-KADER, 2013; WANG et al., 2019). O objetivo é medir os custos do transporte/coleta e manutenção dos veículos em comparação com os demais custos da LR. O indicador é apresentado na Equação 18.

$$\text{Custo de transporte} = \frac{\text{Custo com transporte}}{\text{Custo total da LR}} \quad \text{Eq. (18)}$$

- Eficiência do veículo (SHAIK; ABDUL-KADER, 2013). O objetivo é comparar os meios utilizados com as melhores práticas da indústria. O indicador é apresentado na Equação 19.

$$\text{Eficiência do veículo} = \frac{\text{Eficiência do veículo utilizado}}{\text{Eficiência do veículo de outras indústrias}} \quad \text{Eq. (19)}$$

- Investimento (SHAIK; ABDUL-KADER, 2013). O objetivo é medir a depreciação dos investimentos feitos no transporte. O indicador é apresentado na Equação 20.

$$\text{Investimento} = \frac{\text{Depreciação dos veículos e demais instrumentos utilizados na coleta}}{\text{Valor investido na coleta}} \quad \text{Eq. (20)}$$

- Proteção (SHAIK; ABDUL-KADER, 2013). O objetivo é avaliar a segurança dos funcionários por meio da prevenção de acidentes. O indicador é apresentado na Equação 21.

$$\text{Taxa de acidentes na coleta} = \frac{\text{Número de acidentes}}{\text{Número total de funcionários}} \quad \text{Eq. (21)}$$

- Quantidade transportada (PANDIAN; ABDUL-KADER, 2017; SANGWAN, 2017). O objetivo é medir a quantidade de produtos transportados e saber se todos os produtos a serem coletados foram realmente coletados ou não. O indicador é apresentado na Equação 22.

$$\text{Quantidade transportada} = \frac{\text{Quantidade transportada}}{\text{Quantidade de produtos que necessitam de transporte}}$$

Eq.(22)



- Segurança (SHAIK; ABDUL-KADER, 2013). O objetivo é avaliar a segurança dos funcionários por meio da segurança contra crimes. O indicador é apresentado na Equação 23.

$$\text{Taxa de criminalidade} = \frac{\text{Número de criminalidade no período atual}}{\text{Número de criminalidades no período anterior}} \quad \text{Eq. (23)}$$

- Tecnologias de veículos e recursos (SHAIK; ABDUL-KADER, 2013). O objetivo é avaliar se as competências e tecnologias do sistema de transporte suprem a demanda atual. O indicador é apresentado na Equação 24.

$$\text{Tecnologias} = \frac{\text{Produtos não transportados por falta de tecnologia}}{\text{Total de produtos a serem transportados}} \quad \text{Eq. (24)}$$

- Tempo de inspeção (PANDIAN; ABDUL-KADER, 2017). O objetivo é medir o tempo perdido na pré-inspeção dos produtos. O indicador é apresentado na Equação 25.

$$\text{Tempo de inspeção} = \frac{\text{Tempo gasto na pré-inspeção}}{\text{Tempo total da coleta}} \quad \text{Eq. (25)}$$

- Tempo perdido em trânsito (SHAIK; ABDUL-KADER, 2013). O objetivo é medir o tempo perdido em congestionamentos na rota escolhida. O indicador é apresentado na Equação 26.

$$\text{Tempo de trânsito} = \frac{\text{Tempo gasto em congestionamentos}}{\text{Tempo total da coleta}} \quad \text{Eq. (26)}$$

- Volume reduzido pelo trânsito (SHAIK; ABDUL-KADER, 2013). O objetivo é saber o volume que foi reduzido no transporte para minimizar o tempo em congestionamento escolhendo outras formas de transporte. O indicador é apresentado na Equação 27.

$$\text{Volume reduzido} = \frac{\text{Volume transportado pelo novo meio}}{\text{Volume do veículo regularmente utilizado}} \quad \text{Eq. (27)}$$

### 4.3.3. Indicadores para teste e inspeção

A atividade de teste e inspeção é responsável por testar e inspecionar todos os produtos que retornam e então classificá-los de acordo com o seu nível de danificação e direcioná-los para a próxima destinação, a classificação, a desmontagem ou diretamente para a reciclagem, remanufatura, reuso ou disposição final. Como já citado, Pandian e Abdul-Kader (2017) e Sangwan (2017) separam indicadores específicos para as atividades de teste e classificação. Os demais autores que avaliam o teste e inspeção trazem indicadores gerais para a LR. Os indicadores selecionados para teste e inspeção são os seguintes:

- Condição dos produtos em fim de vida (WIBOWO; GRANDHI, 2017). O objetivo avaliar as condições em que chegam os produtos em fim de vida. O indicador é apresentado na Equação 28.

$$\text{Condição do produto} = \frac{\text{Nº de produtos que chegam sem condições de aproveitamento}}{\text{Total de produtos retornados}}$$

Eq. (28)

- Custo com testes (SANGWAN, 2017). O objetivo é saber quanto foi gasto com o testes gerados nos produtos. O indicador é apresentado na Equação 29.

$$\text{Custo com testes} = \frac{\text{Custo com testes}}{\text{Custo total da LR}} \quad \text{Eq. (29)}$$

- Total de falhas (MONDRAGON; LALWANI; MONDRAGON, 2011). O objetivo é saber quantos produtos falham nos testes realizados. O indicador é apresentado na Equação 30.

$$\text{Falhas} = \frac{\text{Nº de produtos que falham no teste}}{\text{Nº total de produtos testados}} \quad \text{Eq. (30)}$$

- Total de lixo (NIKOLAOU; EVANGELINOS; ALLAN, 2013; SANGWAN, 2017). O objetivo é medir a quantidade de resíduos que são enviados diretamente para a disposição final. O indicador é apresentado na Equação 31.

$$Total\ de\ lixo = \frac{Quantidade\ de\ produtos\ destinados\ a\ disposição\ final}{Quantidade\ total\ de\ produtos\ retornados} \quad Eq.\ (31)$$

- Treinamento (NIKOLAOU; EVANGELINOS; ALLAN, 2013; SANGWAN, 2017). O objetivo é avaliar o conhecimento dos colaboradores da área de testes quanto aos treinamentos fornecidos pela empresa. O indicador é apresentado na Equação 32.

$$Capacitação\ para\ teste\ e\ inspeção = \frac{Funcionários\ que\ tiveram\ treinamento}{Total\ de\ funcionários} \quad Eq.\ (32)$$

- Uso de energia (NIKOLAOU; EVANGELINOS; ALLAN, 2013). O objetivo é medir a quantidade de energia utilizada durante os testes. O indicador é apresentado na Equação 33.

$$Uso\ de\ energia\ em\ teste\ e\ inspeção = \frac{Quantidade\ de\ energia\ gasta\ durante\ os\ testes}{Quantidade\ total\ de\ energia\ gasta\ na\ LR} \quad Eq.\ (33)$$

#### 4.3.4. Indicadores para classificação

A atividade de classificação e/ou seleção é responsável por analisar os produtos de acordo com a sua utilidade e direcioná-los para a próxima etapa onde serão reciclados, remanufaturados, reutilizados ou seguirão para a disposição final. Como já citado, Pandian e Abdul-Kader (2017) e Sangwan (2017) separam indicadores específicos para estas atividades, Os demais autores que avaliam a seleção trazem indicadores gerais para a LR. Os indicadores selecionados para classificação são os seguintes:

- Custo de classificação (OLUGU; WONG, 2012; OLUGU; WONG; SHAHAROUN, 2011). O objetivo é saber quanto foi gasto com a classificação dos produtos. O indicador é apresentado na Equação 34.

$$Custo\ com\ Classificação = \frac{Custo\ da\ classificação}{Custo\ total\ da\ LR} \quad Eq.\ (34)$$

- Eficácia da classificação (PANDIAN; ABDUL-KADER, 2017). O objetivo é avaliar se as classificações estão sendo bem feitas ou não e se nenhum produto é classificado e enviado para o local errado. O indicador é apresentado na Equação 35.

$$\text{Eficácia da Classificação} = \frac{\text{Nº de produtos encontrados com classificação errada}}{\text{Nº total de produtos classificados}}$$

Eq. (35)

- Tempo de classificação (PANDIAN; ABDUL-KADER, 2017). O objetivo é avaliar o tempo gasto na classificação dos produtos em relação ao lead time total da LR. O indicador é apresentado na Equação 36.

$$\text{Tempo de classificação} = \frac{\text{Tempo gasto na classificação}}{\text{Tempo total da LR}} \quad \text{Eq. (36)}$$

- Treinamento (NIKOLAOU; EVANGELINOS; ALLAN, 2013; SANGWAN, 2017). O objetivo é avaliar o conhecimento dos colaboradores da área de classificação quanto aos treinamentos fornecidos pela empresa. O indicador é apresentado na Equação 37.

$$\text{Capacitação para classificação} = \frac{\text{Funcionários que tiveram treinamento}}{\text{Total de funcionários}} \quad \text{Eq. (37)}$$

#### 4.3.5. Indicadores para desmontagem

Nem todos os produtos que retornam precisam ser desmontados para seguir seu fluxo dentro da LR. Os autores que citam indicadores para desmontagem colocam os mesmos junto com as atividades de inspeção e seleção. Aqui são separados para que as empresas que não utilizam essa atividade possam simplesmente descartá-los. Desta forma, um único indicador foi encontrado:

- Custo de desmontagem (OLUGU; WONG, 2012; SANGWAN, 2017). O objetivo é saber quanto foi gasto com a atividade de desmontagem dos produtos. O indicador é apresentado na Equação 38.

$$\text{Custo com Desmontagem} = \frac{\text{Custo da desmontagem}}{\text{Custo total da LR}} \quad \text{Eq. (38)}$$

#### 4.3.6. Indicadores para reciclagem

A reciclagem pode transformar um material já utilizado em matéria prima para outros tipos de produto. Olugu, Wong e Shaharoun (2011) estudam uma cadeia de ciclo fechado contendo a reciclagem de peças retornados da indústria automotiva. Assim, a maior parte dos seus indicadores são voltados para a reciclagem. Olugu e Wong (2012) também destacam a atividade de reciclagem no seu modelo como destino dos retornos. Pandian e Abdul-Kader (2017) consideram o agente reciclador como uma empresa a parte e propõem indicadores para esta atividade. Trappey, Trappey e Wu (2010) ainda trazem um indicador para a reciclagem em sua proposta de indicadores voltados para um caso específico de uma empresa. Os indicadores selecionados para avaliar a atividade de reciclagem são:

- Custo de reciclagem (OLUGU; WONG; SHAHAROUN, 2011; OLUGU; WONG, 2012). Tem como objetivo avaliar o custo da atividade de reciclagem em comparação ao custo total da LR. O indicador é apresentado na Equação 39.

$$\text{Custo de reciclagem} = \frac{\text{Custo da reciclagem}}{\text{Custo total da LR}} \quad \text{Eq. (39)}$$

- Quantidade de material reciclado (PANDIAN; ABDUL-KADER, 2017). O objetivo é saber quanto material foi reciclado em comparação com o período anterior. O indicador é apresentado na Equação 40.

$$\text{Quantidade reciclada} = \frac{\text{Quantidade de material reciclado no período atual}}{\text{Quantidade de material reciclado no período anterior}} \quad \text{Eq. (40)}$$

- Taxa de reciclagem (TRAPPEY; TRAPPEY; WU, 2010; OLUGU; WONG; SHAHAROUN, 2011; PANDIAN; ABDUL-KADER, 2017) Tem como objetivo avaliar se todos os materiais que tem condições de serem reciclados realmente passaram pelo processo de reciclagem. O indicador é apresentado na Equação 41.

$$\text{Taxa de reciclagem} = \frac{\text{Quantidade de material reciclado}}{\text{Quantidade de material que pode ser reciclado}} \quad \text{Eq. (41)}$$

- Tempo de reciclagem (OLUGU; WONG; SHAHAROUN, 2011; OLUGU; WONG, 2012). Tem como objetivo avaliar o tempo gasto durante a reciclagem (lead-time) e comparar com o período anterior. O indicador é apresentado na Equação 42.

$$\text{Tempo de reciclagem} = \frac{\text{Tempo de reciclagem do período atual}}{\text{Tempo de reciclagem do período anterior}} \quad \text{Eq. (42)}$$

- Uso de energia (OLUGU; WONG; SHAHAROUN, 2011). O objetivo é medir a quantidade de energia utilizada durante a reciclagem. O indicador é apresentado na Equação 43.

$$\text{Uso de energia para reciclagem} = \frac{\text{Quantidade de energia gasta durante a reciclagem}}{\text{Quantidade total de energia gasta na LR}}$$

Eq. (43)

#### 4.3.7. Indicadores para remanufatura

Quando o material tem condições, ele pode retornar para o processo produtivo e passar pelo reprocessamento ou remanufatura. Nikolaou, Evangelinos e Allan (2013) separam indicadores do GRI entre as atividades de coleta, seleção e reprocessamento, definindo indicadores para esta atividade. Pandian e Abdul-Kader (2017) utilizam o agente remanufaturador como independente e propõem indicadores para esta atividade. Mais alguns indicadores para a remanufatura são encontrados nos modelos gerais propostos pelos demais autores. Assim, os indicadores selecionados para avaliar a remanufatura são:

- Capacidade de remanufatura (PANDIAN; ABDUL-KADER, 2017). Tem como objetivo avaliar se as instalações atuais tem capacidade de remanufaturar todos os produtos que retornam. Este indicador é apresentado na Equação 44.

$$\text{Capacidade de remanufatura} = \frac{\text{Volume de material remanufaturado}}{\text{Volume de material que pode ser remanufaturado}}$$

Eq. (44)

- Custo do processo de remanufatura (SKAPA; KLAPALOVA, 2012; WANG et al., 2019). Tem como objetivo avaliar o custo da atividade de remanufatura em comparação ao custo total da LR. O indicador é apresentado na Equação 45.

$$\text{Custo de remanufatura} = \frac{\text{Custo da remanufatura}}{\text{Custo total da LR}} \quad \text{Eq. (45)}$$

- Custo de remanufatura por produto retornado (MIMOUNI; ABOUABDELLAH, 2016). Tem como objetivo avaliar o custo de remanufatura de cada tipo de produto. O indicador é apresentado na Equação 46.

$$\text{Custo de remanufatura por produto} = \frac{\text{Custo da remanufatura do produto X}}{\text{Custo total de remanufatura}} \quad \text{Eq. (46)}$$

- Quantidade de material em processo (PANDIAN; ABDUL-KADER, 2017). O objetivo é saber quanto material foi remanufaturado em comparação com o período anterior. O indicador é apresentado na Equação 47.

$$\text{Taxa de remanufatura} = \frac{\text{Quantidade de material remanufaturado no período atual}}{\text{Quantidade de material remanufaturado no período anterior}}$$

Eq. (47)

- Segurança dos funcionários durante os processos de remanufatura (WANG et al., 2019). O objetivo é avaliar a segurança dos funcionários por meio da prevenção de acidentes. O indicador é apresentado na Equação 48.

$$\text{Taxa de acidentes na remanufatura} = \frac{\text{Número de acidentes}}{\text{Número total de funcionários}} \quad \text{Eq. (48)}$$

- Tempo de remanufatura (PANDIAN; ABDUL-KADER, 2017). Tem como objetivo avaliar o tempo gasto durante a remanufatura (lead-time) e comparar com o período anterior. O indicador é apresentado na Equação 49.

$$\text{Tempo de remanufatura} = \frac{\text{Tempo de remanufatura do período atual}}{\text{Tempo de remanufatura do período anterior}} \quad \text{Eq. (49)}$$

- Treinamento (NIKOLAOU; EVANGELINOS; ALLAN, 2013). O objetivo é avaliar o conhecimento dos colaboradores da área de remanufatura quanto aos treinamentos fornecidos pela empresa. O indicador é apresentado na Equação 50.

$$\text{Capacitação para remanufatura} = \frac{\text{Funcionários que tiveram treinamento}}{\text{Total de funcionários}} \quad \text{Eq. (50)}$$

- Uso de energia (NIKOLAOU; EVANGELINOS; ALLAN, 2013). O objetivo é medir a quantidade de energia utilizada durante a remanufatura. O indicador é apresentado na Equação 51.

$$\text{Uso de energia} = \frac{\text{Quantidade de energia gasta durante a remanufatura}}{\text{Quantidade total de energia gasta na LR}} \quad \text{Eq. (51)}$$

- Uso de energias renováveis (NIKOLAOU; EVANGELINOS; ALLAN, 2013). Tem como objetivo avaliar a taxa de utilização de energias renováveis durante o processamento. O indicador é apresentado na Equação 52.

$$\text{Uso de energias renováveis} = \frac{\text{Quantidade de energia renovável gasta durante a remanufatura}}{\text{Quantidade total de energia gasta na remanufatura}} \quad \text{Eq. (52)}$$

#### 4.3.8. Indicadores para reutilização

- Lucro com reutilização de componentes (WANG et al., 2019). Tem como objetivo avaliar o lucro que a empresa tem ao reutilizar matérias no seu processamento ao invés de utilizar matéria prima virgem. O indicador é apresentado na Equação 53.

$$\text{Lucro reutilização} = \frac{\text{Custo da recuperação do material X}}{\text{Custo do material X virgem}} \quad \text{Eq. (53)}$$



- Taxa de reutilização (BUTZER et al., 2017). O objetivo é saber quanto material foi reutilizado em comparação com o período anterior. O indicador é apresentado na Equação 54.

$$\text{Taxa de reutilização} = \frac{\text{Quantidade de material reutilizado no período atual}}{\text{Quantidade de material reutilizado no período anterior}} \quad \text{Eq. (54)}$$

#### 4.3.9. Indicadores para disposição final

Após passar por todos os processos da LR alguns componentes não possuem mais valor e não podem mais ser recuperados. Desta forma, eles são enviados para uma disposição ambientalmente correta, como os aterros sanitários por exemplo. Os indicadores selecionados para a atividade de disposição final são:

- Custos para disposição final (OLUGU; WONG; SHAHAROUN, 2011). Tem como objetivo avaliar os custos envolvidos na disposição final em comparação com o custo total da LR. O indicador é apresentado na Equação 55.

$$\text{Custo de disposição final} = \frac{\text{Custo da disposição final}}{\text{Custo total da LR}} \quad \text{Eq. (55)}$$

- Disponibilidade de opções para a disposição final (OLUGU; WONG; SHAHAROUN, 2011). Tem como objetivo avaliar as diversas possibilidades de disposição final para os produtos. O indicador é apresentado na Equação 56.

$$\text{Opções de disposição final} = \frac{\text{Nº de opções viáveis para disposição final}}{\text{Nº de opções utilizadas para disposição final}} \quad \text{Eq. (56)}$$

- Taxa de disposição final (OLUGU; WONG; SHAHAROUN, 2011; BUTZER et al., 2017). O objetivo é saber quanto material foi descartado em comparação com o período anterior. O indicador é apresentado na Equação 57.

$$\text{Taxa de descarte} = \frac{\text{Quantidade de material descartado no período atual}}{\text{Quantidade de material descartado no período anterior}} \quad \text{Eq. (57)}$$

#### 4.4. APLICAÇÃO DO MÉTODO FUZZY DELPHI PARA SELEÇÃO DOS INDICADORES

Após a seleção dos indicadores da literatura, os mesmos foram enviados em forma de questionário para especialistas da indústria e da academia, para receberem seu grau de importância. Os especialistas avaliaram o objetivo e a equação de cada indicador e marcaram valores de um a cinco, onde um significa que o indicador é sem importância e cinco é muito importante. Com as respostas, foi possível aplicar o FDM para a seleção final de quais indicadores devem fazer parte da ferramenta e quais devem ser eliminados. O Quadro 3 apresenta o resultado da aplicação do FDM com os valores de  $x_i$ ,  $y_i$ ,  $z_i$ , e  $G_i$  (Centro de área) para cada indicador. O valor de  $\tilde{a}$  para a seleção dos indicadores é a média dos valores de  $G_i$  para cada atividade. Desta forma, Cada atividade tem um valor de eliminação ou seleção diferente. Assim, se  $G_i$  for maior que  $\tilde{a}$  o indicador é selecionado, caso contrário é eliminado.

Quadro 3 - Resultados do FDM

Indicadores	$x_i$ (Min)	$y_i$ (média)	$z_i$ (Max)	$G_i$	Selec./ Elimin.
Indicadores para relacionamento com o cliente – $\tilde{a} = 3,686$					
Imagem verde	3	3,797	5	3,932	Selecionado
Nível de cooperação dos consumidores em devolver o produto	3	4,280	5	4,093	Selecionado
Nível de entendimento sobre os processos reversos por parte dos consumidores e disseminação da informação	2	3,283	5	3,428	Eliminado
Nível De Interesse Dos Consumidores Por Produtos Verdes	2	2,952	5	3,317	Eliminado
Satisfação do cliente	3	4,280	5	4,093	Selecionado
Relações duradouras com os clientes.	3	3,562	5	3,854	Selecionado
Serviços diferenciados	2	3,245	4	3,082	Eliminado
Indicadores para coleta – $\tilde{a} = 3,768$					
Capacidade de transporte	4	4,599	5	4,533	Selecionado
Capacidade de TI	3	3,797	5	3,932	Selecionado
Capacitação dos recursos humanos	2	3,510	5	3,503	Eliminado
Comunidade	2	2,995	5	3,332	Eliminado
Confiabilidade no transporte	3	4,196	5	4,065	Selecionado

Conformidade ambiental	3	3,936	5	3,979	Selecionado
Controle de emissão de poluentes	3	3,904	5	3,968	Selecionado
Custo de transporte	4	4,862	5	4,621	Selecionado
Eficiência do veículo	2	3,500	5	3,500	Eliminado
Investimento	2	3,847	5	3,616	Eliminado
Proteção	2	3,528	5	3,509	Eliminado
Quantidade transportada	3	4,080	5	4,027	Selecionado
Segurança	2	3,359	5	3,453	Eliminado
Tecnologias de veículos e recursos	2	3,266	5	3,422	Eliminado
Tempo de inspeção	2	3,741	5	3,580	Eliminado
Tempo perdido em trânsito	3	3,828	5	3,943	Selecionado
Volume reduzido pelo transito	1	3,235	5	3,078	Eliminado
Indicadores para teste e inspeção – $\tilde{a} = 4,012$					
Condição do produto em fim de vida	3	3,663	5	3,888	Eliminado
Custo com testes	3	4,196	5	4,065	Selecionado
Total de Falhas	3	3,936	5	3,979	Eliminado
Total de Lixo	4	4,349	5	4,450	Selecionado
Treinamento	3	4,080	5	4,027	Selecionado
Uso de energia	2	3,988	5	3,663	Eliminado
Indicadores para classificação – $\tilde{a} = 3,690$					
Custo de Classificação	2	4,217	5	3,739	Selecionado
Eficácia da classificação	2	4,336	5	3,779	Selecionado
Tempo de classificação	2	3,988	5	3,663	Eliminado
Treinamento	2	3,741	5	3,580	Eliminado
Indicadores para desmontagem – $\tilde{a} = 4,450$					
Custo de Desmontagem	4	4,349	5	4,450	Selecionado
Indicadores para reciclagem – $\tilde{a} = 4,163$					
Custo de reciclagem	4	4,729	5	4,576	Selecionado
Qualidade de material reciclado	4	4,599	5	4,533	Selecionado
Taxa de reciclagem	3	4,047	5	4,016	Eliminado
Tempo de reciclagem	3	4,080	5	4,027	Eliminado
Uso de energia	2	3,988	5	3,663	Eliminado
Indicadores para remanufatura – $\tilde{a} = 3,863$					
Capacidade de remanufatura	2	4,101	5	3,700	Eliminado
Custo do processo de remanufatura	4	4,729	5	4,576	Selecionado

Custo de remanufatura por produto retornado	3	4,314	5	4,105	Selecionado
Quantidade de material em processo	3	3,693	5	3,898	Selecionado
Segurança dos funcionários durante os processos de remanufatura	2	3,711	5	3,570	Eliminado
Tempo de remanufatura	3	3,936	5	3,979	Selecionado
Treinamento	2	3,609	5	3,536	Eliminado
Uso de energia	2	4,101	5	3,700	Eliminado
Uso de energias renováveis	2	4,101	5	3,700	Eliminado
Indicadores para reutilização – $\tilde{a} = 4,227$					
Lucro com reutilização de componentes	3	4,314	5	4,105	Eliminado
Taxa de reutilização	4	4,349	5	4,450	Selecionado
Indicadores para disposição final – $\tilde{a} = 4,213$					
Custo para disposição final	4	4,599	5	4,533	Selecionado
Disponibilidade de opções para a disposição final	2	3,847	5	3,616	Eliminado
Taxa de disposição final	4	4,472	5	4,491	Selecionado

Fonte: Elaborado pela autora

Dos 54 indicadores retirados da literatura, 27 foram eliminados de acordo com a opinião dos especialistas e pela aplicação do FDM.. Desta forma, 27 indicadores fazem parte da seleção final para compor a ferramenta de AD da LR.

#### 4.5. FERRAMENTA PARA AVALIAÇÃO DA LR

Após a seleção dos indicadores a ferramenta pode ser finalizada. Seu principal objetivo é ser adaptável para todas as empresas de manufatura que possuem LR de pós consumo e atenda às necessidades de cada uma. Para isso, os seguintes passos devem ser seguidos:

1º passo: Selecionar as atividades que a empresa desempenha de acordo com a descrição de cada atividade;

2º passo: Analisar os indicadores selecionados para cada atividade quanto a sua utilização e importância para a empresa. Caso os gestores achem necessário, acrescentar ou eliminar indicadores, ou alterar os existentes, conforme a estratégia da empresa;

3º passo: Hierarquizar as atividades e os indicadores utilizando uma ferramenta de MCDM, como o AHP. Os gestores da LR da empresa devem ser consultados para que as metas da empresa sejam consideradas no sistema de AD. Assim, com a aplicação do AHP cada

indicador e cada atividade terá um peso de acordo com a estratégia da empresa. Este peso auxilia na percepção de o que é mais importante para a empresa no momento e onde as melhorias devem ser aplicadas primeiro, ou qual atividade merece uma maior atenção;

4º passo: Calcular os indicadores com seus respectivos pesos, que também são utilizados para o cálculo de um indicador único e integrativo para a LR da empresa, pois possuem pesos para cada atividade ( $p_a$ ) e pesos para cada indicador ( $p_i$ ). Assim, o valor do indicador  $i$  ( $K_i$ ), deve ser multiplicado pelo peso do indicador  $i$  ( $p_i$ ); este valor deve ser multiplicado pelo peso da sua atividade  $a$  para resultar no valor final de cada indicador. O somatório destes valores resulta no indicador integrativo da LR, conforme a Equação 58, onde  $i$  é o número total de indicadores.

$$LR = \sum_i^1 K_i * p_i * p_a \quad \text{Eq. (58)}$$

Caso a empresa não tenha os dados para o cálculo dos indicadores, Shaik e Abdul-Kader (2012 e 2013) propõem valores gerados a partir de uma matriz de comparação para uma classificação para avaliação da empresa em cada indicador: excelente (E), boa (B), média (M), satisfatória (S) e ruim (R), com os pesos relativos calculados de 0,471; 0,268; 0,143; 0,075; e 0,044, respectivamente, conforme o Quadro 4.

Quadro 4 - Matriz de comparação pareada para as avaliações de classificação

Avaliação da empresa	Excelente	Boa	Média	Satisfatória	Ruim	Pesos
Excelente (E)	1	2	4	6	8	0.471
Boa (B)	0.5	1	2	4	6	0.268
Média (M)	0.25	0.5	1	2	4	0.143
Satisfatória (S)	0.17	0.25	0.5	1	2	0.075
Ruim (R)	0.13	0.17	0.25	0.5	1	0.044
Consistência: 0,087						

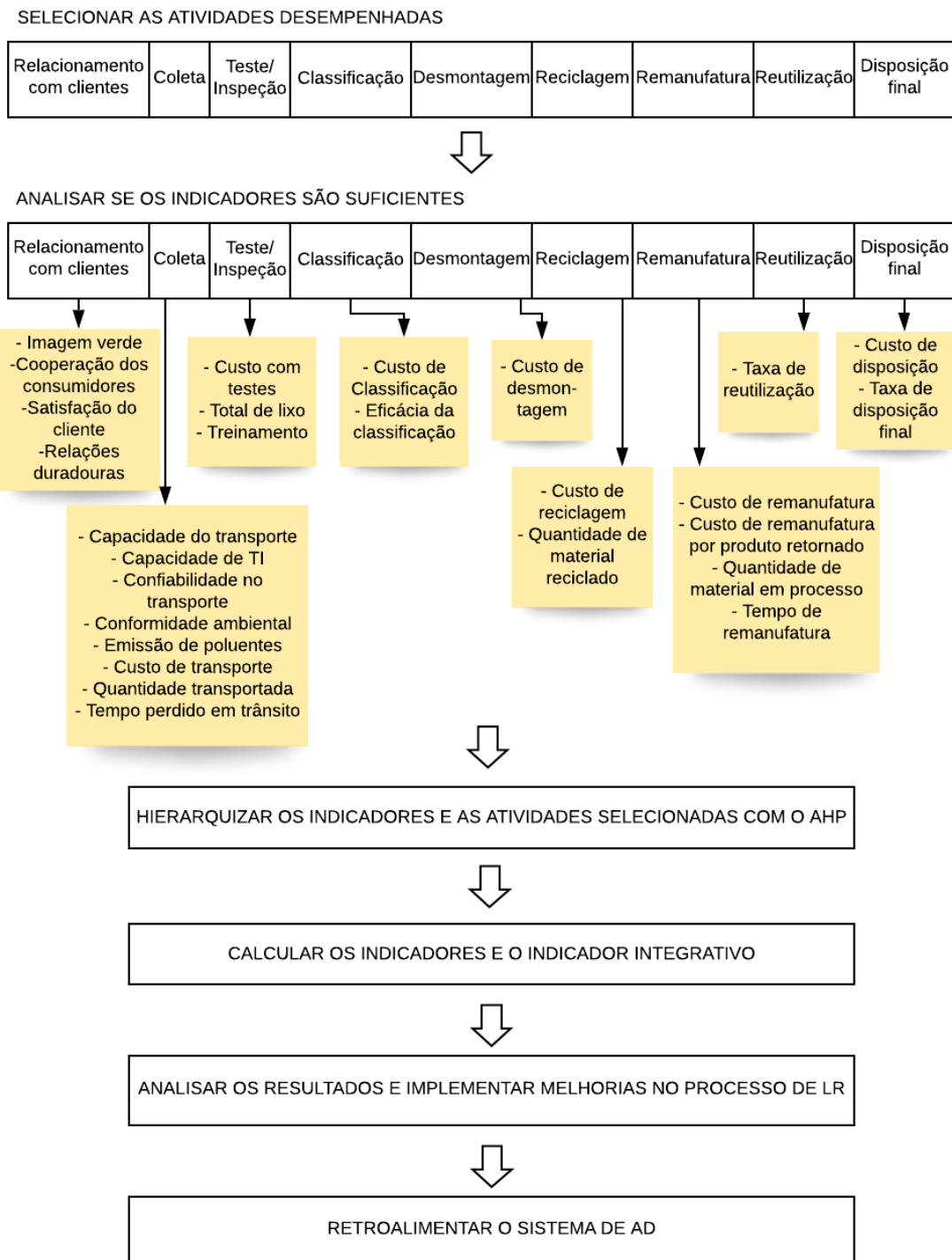
Fonte: Shaik e Abdul-Kader (2013)

5º passo: Analisar os resultados obtidos dentro de cada atividade e de forma geral. Os indicadores com valores mais baixos merecem atenção especial por parte dos gestores e melhorias devem ser adotadas para que o desempenho desta atividade aumente, o que resulta em uma maior vantagem para a empresa.

6º passo: Retroalimentar o sistema: o sistema deve ser acompanhado periodicamente. A empresa deve definir um período para que a AD aconteça (mensalmente, semanalmente, etc.) e recalculer os indicadores dentro deste período e comparar com o período anterior, para perceber se as melhorias aplicadas estão surtindo efeito ou não. O sistema em si deve ser reavaliado periodicamente também. Caso o sistema de AD não atenda mais a estratégia da empresa ou os indicadores não trazem mais as informações necessárias eles devem ser revistos e redesenhados ou o AHP pode ser reaplicado para que os pesos estejam de acordo com a estratégia da empresa.

A Figura 8 resume a ferramenta proposta.

Figura 8 - Ferramenta para AD da LR



Fonte: Elaborado pela autora.

#### 4.6. EXEMPLO NUMÉRICO

Um exemplo numérico é utilizado como forma de demonstrar a aplicabilidade da ferramenta. A empresa fictícia utilizada neste exemplo realiza LR de pós-consumo para a reutilização de alguns componentes e reciclagem e venda dos demais. Desta forma, a empresa

realiza promoções para que seus clientes devolvam os produtos em fim de vida e possui pontos de coleta em suas lojas. O transporte é realizado com veículos próprios, onde os novos produtos são transportados até as lojas e os produtos em fim de vida são retornados a empresa na viagem de volta do caminhão. Ao chegar na empresa os produtos retornados passam por uma inspeção e classificação e são enviados para a reciclagem, reutilização ou disposição final conforme a sua usabilidade. Assim, a ferramenta para AD da LR desta empresa fictícia é aplicada seguindo os passos:

1º passo – Classificação das atividades: Relacionamento com os clientes; coleta; teste e inspeção; classificação; reciclagem; reutilização; e disposição final.

2º passo – Análise e eliminação ou acréscimo de indicadores. A empresa não realiza testes em seus produtos pois não há necessidade. Assim, o indicador para a atividade de testes e inspeção “custo com testes” pode ser eliminado do sistema. Os demais indicadores são julgados adequados e suficientes.

3º passo – Hierarquizar as atividades e os indicadores. Os gestores da empresa devem inicialmente comparar as atividades realizadas entre si e definir os pesos de cada uma dentro da ferramenta utilizando o AHP. Depois, o mesmo deve ser feito para cada conjunto de indicadores de cada atividade. A comparação par a par e os pesos para as atividades da empresa são apresentados no Quadro 5.

Quadro 5 - Comparação e pesos das atividades

Atividades	Cli.	Col.	Ins.	Cla.	Rec.	Reu.	Dis.	Pesos
<b>Clientes</b>	1	2	5	3	1/3	1/3	2	0,143
<b>Coleta</b>	1/2	1	5	5	1/3	1/3	3	0,141
<b>Inspeção</b>	1/5	1/5	1	1	1/5	1/5	1	0,045
<b>Classificação</b>	1/3	1/5	1	1	1/5	1/5	1	0,047
<b>Reciclagem</b>	3	3	5	5	1	1	5	0,286
<b>Reutilização</b>	3	3	5	5	1	1	5	0,286
<b>Disposição final</b>	1/2	1/3	1	1	1/5	1/5	1	0,052
<b>TC = 0,051 &lt; 0,1 - Ok</b>								

A comparação par a par e os pesos dos indicadores para cada atividade são apresentados no Quadros 6 a 11.

Quadro 6 - Comparação e pesos para os indicadores de relacionamento com clientes

Indicadores	Imagem verde	Cooperação dos consumidores	Satisfação dos clientes	Relações duradouras	Pesos
-------------	--------------	-----------------------------	-------------------------	---------------------	-------



<b>Imagem verde</b>	1	1/3	1/5	1/3	0,081
<b>Cooperação dos consumidores</b>	3	1	1/3	1	0,217
<b>Satisfação dos clientes</b>	5	3	1	1	0,418
<b>Relações duradouras</b>	3	1	1	1	0,283

**TC = 0,051 < 0,8 - Ok**

Quadro 7 - Comparação e pesos para os indicadores de coleta

<b>Indicadores</b>	<b>CT</b>	<b>CTI</b>	<b>Conf.</b>	<b>CA</b>	<b>EP</b>	<b>Cst.</b>	<b>QT</b>	<b>Tmp.</b>	<b>Pesos</b>
<b>Capacidade de transporte</b>	1	3	1/3	3	3	1/3	1	3	0,140
<b>Capacidade de TI</b>	1/3	1	1/5	1/3	1/3	1/3	1/3	1/3	0,039
<b>Confiabilidade no transporte</b>	3	5	1	3	3	1	2	3	0,235
<b>Conformidade ambiental</b>	1/3	3	1/3	1	1	1/3	1/3	3	0,084
<b>Emissão de poluentes</b>	1/3	3	1/3	1	1	1/3	1/3	1	0,070
<b>Custo de transporte</b>	3	3	1	3	3	1	1	3	0,205
<b>Quantidade transportada</b>	1	3	1/2	3	3	1	1	3	0,163
<b>Tempo perdido em trânsito</b>	1/3	3	1/3	1/3	1	1/3	1/3	1	0,064

**TC = 0,061 < 0,1 - OK**

Quadro 8 - Comparação e pesos para os indicadores de inspeção

<b>Indicadores</b>	<b>Total de lixo</b>	<b>Treinamento</b>	<b>Pesos</b>
<b>Total de lixo</b>	1	2	0,667
<b>Treinamento</b>	1/2	1	0,333

Quadro 9 - Comparação e pesos para os indicadores de classificação

<b>Indicadores</b>	<b>Custo de classificação</b>	<b>Eficácia da classificação</b>	<b>Pesos</b>
<b>Custo de classificação</b>	1	1/2	0,333
<b>Eficácia da classificação</b>	2	1	0,667

Quadro 10 - Comparação e pesos para os indicadores de reciclagem

<b>Indicadores</b>	<b>Custo de reciclagem</b>	<b>Quantidade reciclada</b>	<b>Pesos</b>
<b>Custo de reciclagem</b>	1	3	0,750
<b>Quantidade reciclada</b>	1/3	1	0,250

Quadro 11 - Comparação e pesos para os indicadores de disposição final

Atividades	Custo com disposição	Taxa de disposição final	Vetor de Eigen
<b>Custo com disposição</b>	1	2	0,667
<b>Taxa de disposição final</b>	1/2	1	0,333

A atividade de reutilização possui apenas o indicador de “taxa de reutilização” e este tem peso 1, pois não possui mais indicadores para comparação e aplicação do método AHP.

4º passo – Cálculo dos indicadores. Para calcular o desempenho de cada indicador da empresa fictícia os valores de classificação para avaliação de Shaik e Abdul-Kader (2012 e 2013) foram utilizados. Assim, a empresa pode ter um desempenho excelente (E), bom (B), médio (M), satisfatório (S), ou ruim (R) em cada indicador. Os valores e o desempenho de cada indicador são apresentados no Quadro 12, onde os indicadores são representados por cores que variam do vermelho, para a classificação ruim, ao verde, para a classificação excelente.

Quadro 12 - Desempenho da empresa fictícia

Atividade	Peso da atividade (pa)	Indicadores	Classificação	Desempenho (Ki)	Peso do indicador (pi)	Desempenho final do indicador
Relacionamento com os clientes	0,143	Imagem verde	B	0,268	0,081	0,003
		Cooperação dos consumidores	B	0,268	0,217	0,008
		Satisfação dos clientes	M	0,143	0,418	0,009
		Relações duradouras	R	0,044	0,283	0,002
Coleta	0,141	Capacidade de transporte	E	0,471	0,140	0,009
		Capacidade de TI	M	0,143	0,039	0,001
		Confiabilidade no transporte	E	0,471	0,235	0,016
		Conformidade ambiental	B	0,268	0,084	0,003
		Emissão de poluentes	R	0,044	0,070	0,000

		Custo de transporte	M	0,143	0,205	0,004
		Quantidade transportada	B	0,268	0,163	0,006
		Tempo perdido em trânsito	R	0,044	0,064	0,000
Inspeção	0,045	Total de lixo	B	0,268	0,667	0,008
		Treinamento	B	0,268	0,333	0,004
Classificação	0,047	Custo de classificação	B	0,268	0,333	0,004
		Eficácia da classificação	E	0,471	0,667	0,015
Reciclagem	0,286	Custo de reciclagem	S	0,075	0,750	0,016
		Quantidade de material reciclado	B	0,268	0,250	0,019
Reutilização	0,286	Taxa de reutilização	B	0,268	1,000	0,077
Disposição final	0,052	Custo com disposição	S	0,075	0,667	0,003
		Taxa de disposição final	M	0,143	0,333	0,002
Desempenho geral da LR						0,210

Para obter o desempenho das atividades é só somar o desempenho final dos indicadores de cada atividade, como pode-se observar no Quadro 13.

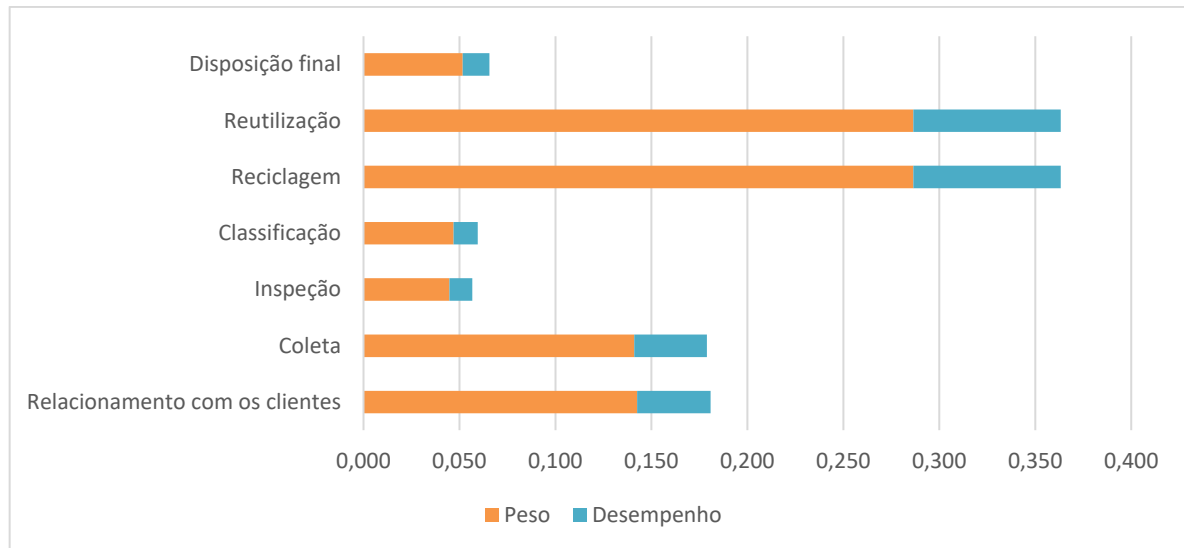
Quadro 13 - Desempenho de cada atividade

Atividade	Cli.	Col.	Ins.	Cl.	Rec.	Reu.	Dis.
<b>Desempenho</b>	2,17%	4,00%	1,20%	1,89%	3,53%	7,68%	0,50%

Como a empresa optou por utilizar a classificação proposta por Shaik e Abdul-Kader (2012 e 2013), o desempenho máximo em cada atividade é de 0,471 (excelente), e o mínimo é de 0,044 (ruim). Assim, é possível definir uma escala e localizar os indicadores dentro destes valores.

O desempenho de cada atividade pode ser melhor observado na Figura 9, onde pode-se perceber qual atividade tem maior peso e contribui mais para o desempenho.

Figura 9 - Desempenho de cada atividade



5º passo – Analisar os resultados obtidos. Fica claro no gráfico da Figura 9 que as atividades com desempenho mais baixo são a inspeção, classificação e a disposição final. A baixa contribuição destas atividades para o desempenho final não se dá somente pelo desempenho baixo destas atividades, mais pelos pesos baixos a elas atribuídos também. As atividades de coleta e relacionamento com os clientes possuem um peso um pouco maior e melhorias aplicadas a elas tem uma maior contribuição para o desempenho final da LR. Por fim, as atividades de reutilização e reciclagem possuem maior peso e são elas que tem a maior parcela de contribuição para o indicador final. Pequenas melhorias nestas atividades podem trazer um aumento significativo no indicador integrativo. Desta forma, estas atividades podem receber uma maior atenção dos gestores a curto prazo. Analisando os indicadores destas duas atividades, os custos com reciclagem tiveram um desempenho satisfatório. Assim, esforços no sentido de diminuir estes custos e melhorar este indicador devem ser empregados. A quantidade de material reciclado e a taxa de reutilização tiveram um desempenho bom. Para melhorar o desempenho destes indicadores as quantidades de material reciclado e reutilizado devem aumentar. Para isso campanhas para aumentar o volume de retornos devem ser realizadas.

Ao analisar as atividades que tiveram um desempenho menor, sem considerar o seu peso, na inspeção, o indicador com maior peso (condição do produto) teve uma classificação de desempenho média, ou seja, é este indicador que está diminuindo o desempenho desta

atividade. É necessário averiguar se o produto já é entregue pelo cliente nestas condições ou se ele sofre danos durante o transporte e manuseio do material até chegar a esta atividade. Caso ele já seja entregue pelos clientes nestas condições uma maior conscientização quanto ao cuidado com os materiais retornados é necessária, ou mesmo uma clausura quanto a isso no programa de incentivo ao retorno, caso exista. Ao contrário, se o produto é danificado no transporte e manuseio é necessário um treinamento quanto a isso aos funcionários envolvidos. Dentro da atividade de disposição final o indicador de maior peso é relacionado aos custos com disposição e possui uma classificação de desempenho satisfatória. Já na classificação, o indicador de custos também merece atenção, por ser classificado como “bom”. Desta forma uma análise mais detalhada dos custos envolvidos com estas atividades é necessária, para que se possa avaliar onde podem ser cortados desperdícios e custos adicionais.

6º passo – Retroalimentar o sistema. O período definido para a empresa é de um mês. Desta forma, a cada mês os indicadores serão novamente calculados e avaliados. Assim, é possível analisar se as melhorias implementadas estão surtindo efeito e onde podem ser aplicadas novas melhorias.

## **5. DISCUSSÕES**

### **5.1. MÉTODO FUZZY DELPHI**

A aplicação do FDM resultou na seleção dos indicadores para a ferramenta. Foram consultados especialistas da indústria e da academia com o intuito de capturar a importância e a aplicabilidade dos indicadores a serem utilizados. Os indicadores foram selecionados de acordo com a descrição e a forma como foram empregados em cada pesquisa selecionada no PB como base. Outros indicadores aparecem nestes artigos e não foram utilizados aqui por não se enquadrarem em nenhuma atividade em específico ou por avaliarem algum ponto específico de alguma empresa estudada. Dentre os indicadores utilizados, alguns não apresentavam uma métrica para o seu cálculo, mas apresentavam uma descrição de qual seria o resultado esperado, o que possibilitou a criação da sua métrica. Desta forma, os indicadores foram retirados da literatura com a sua descrição e equação e validados com especialistas da área.

Os indicadores foram avaliados separadamente dentro de cada atividade durante a aplicação do FDM e um valor limite  $\tilde{\alpha}$  para seleção e eliminação foi definido também para cada atividade, com o objetivo de manter a essência da ferramenta durante toda a pesquisa e respeitar

as particularidades de cada uma delas. Se um valor limite  $\tilde{a}$  único fosse definido poderiam ser eliminados todos os indicadores de uma atividade  $x$ , o que acabaria afetando o objetivo da ferramenta de dispor de indicadores para todas as atividades envolvidas na LR.

Os especialistas tiveram opiniões conflitantes em alguns casos. Com exceção do indicador de relacionamento dos clientes “serviços diferenciados” que teve nota máxima 4, todos os demais receberam, em algum momento, a nota 5, que significa que o indicador tem muita importância. Mesmo assim, alguns indicadores receberam notas 1 e 2. Um exemplo é o indicador de coleta “volume reduzido pelo trânsito” que recebeu avaliação 5, muito importante de três especialistas, porém, recebeu nota 1, sem importância, e 2 de outros especialistas, o que resultou na eliminação deste indicador. Este indicador busca avaliar o número de vezes em que o volume a ser transportado teve que ser reduzido devido ao uso de veículos menos que se adequam melhor a rotas com menor tempo de congestionamento. A sua eliminação pode ter ocorrido devido a esta não ser uma prática comum no dia-a-dia das empresas, que, em sua maioria, definem a rota já com capacidade de transportar todo o volume necessário. Este indicador já tinha um peso mais baixo na classificação feita por Shaik e Abdul-Kader (2013).

Outro indicador eliminado pelos especialistas na atividade de coleta é o que avalia a eficiência do veículo. Shaik e Abdul-Kader (2013) destacam a importância de se comparar os veículos utilizados com as demais opções existentes no mercado. Este não é um indicador fácil de ser calculado, pois esta comparação é complexa e demanda tempo e dedicação dos colaboradores, que muitas vezes estão envolvidos em outras tarefas da atividade.

A atividade de coleta e transporte dos materiais é a atividade que possui mais indicadores. Isso se deve a pesquisa de Shaik e Abdul-Kader (2013) que propõem um modelo de AD focado no transporte realizado na LR. Eram 17 indicadores da literatura, onde 9 foram eliminados pelos especialistas. Entre os eliminados, estão a “comunidade”, “proteção”, “segurança” e “capacitação dos funcionários”. Isso não significa que os colaboradores da empresa não necessitam de treinamento e proteção, ao contrário, os funcionários necessitam de constante treinamento e capacitação para realizar seu trabalho da forma mais eficiente e eficaz possível, para trazer bons resultados para a empresa. Bem como a segurança e proteção destes funcionários e da comunidade devem ser sempre acompanhados para que todos tenham um bom ambiente de trabalho e se sintam motivados. A eliminação destes indicadores pode ter ocorrido devido as empresas terem a capacitação, proteção e segurança como parte da sua rotina. Os especialistas também eliminaram os indicadores de investimento e tecnologias de

veículos e recursos, propostos por Shaik e Abdul-Kader (2013), e tempo de inspeção de Pandian e Abdul-Kader (2017).

Dentre os indicadores selecionados, A conformidade ambiental já teve um alto grau de importância na pesquisa de Shaik e Abdul-Kader (2013). Com as regulamentações ambientais cada dia mais rigorosas este indicador deve ser acompanhado regularmente. Um dos pontos abordados em algumas destas regulamentações é o controle da emissão de poluentes, indicador selecionado pelos especialistas. Para Prajapati, Kant e Shankar (2019) estudos envolvendo a pegada de carbono também são lacunas e merecem atenção.

O “nível de entendimento dos processos reversos” e o “nível de interesse dos consumidores por produtos verdes” também foram eliminados pelos especialistas. Eles podem ter recebido um grau de importância menor por estarem, de certa forma, englobados nos demais indicadores, pois, se os clientes se sentem motivados a devolver os produtos é porque tem um mínimo de conhecimento dos processos envolvidos e tem interesse nesta questão. Do contrário não se motivariam a devolver o produto. O “satisfação dos clientes”, de certa forma, avalia bem todo este relacionamento entre a empresa e seus consumidores e a qualidade dos serviços prestados. A “satisfação dos clientes” e o “nível de cooperação entre os consumidores” são os indicadores com maior grau de importância, segundos os especialistas. Para Prajapati, Kant e Shankar (2019) o comportamento dos clientes na LR ainda é uma lacuna de pesquisa. A forma como a empresa estimula seus clientes a devolverem os produtos e os mantém fiéis merece atenção, pois sem os clientes a LR não acontece. Isso reforma a seleção do indicador de relações duradouras com os clientes por parte dos especialistas.

Entre os indicadores para esta atividade de teste e inspeção, o “uso de energia” foi eliminado. Porém, a utilização de energia gera um custo, que entra no indicador de “custo com teste”, que engloba todos os custos relacionados a esta atividade. Os indicadores que avaliam o número total de falhas e a condição em que os produtos chegam na empresa também foram eliminados. Os especialistas deram maior importância para o indicador de total de lixo, que traz a informação da quantidade de material destinada a disposição final já na fase de teste. Se este número for alto é possível que os produtos estejam chegando sem condições de recuperação e estejam falhando nos testes. Assim, a eliminação dos indicadores pode ser explicada devido a redundância das informações geradas.

Dentro da atividade de classificação, os indicadores de tempo e treinamento foram eliminados, porém os de custo e eficácia foram selecionados. É a classificação que direciona cada componente para o seu destino conforme a sua qualidade e condição. Assim, a eficiência

e o tempo de classificação determinam uma redução no tempo total da LR (PANDIAN; ABDUL-KADER, 2017). Olugu, Wong e Shaharoun (2011) acreditam que a uma classificação eficiente e eficaz impacta na efetividade de todo o processo. Desta forma, o treinamento dos funcionários se torna importante, pois funcionários que entendem o processo e sabem o que devem executar o fazem em menor tempo e com uma taxa de acertos maior. Assim, ao avaliar a eficácia da classificação já se está avaliando se os funcionários estão bem treinados e realizam bem suas tarefas.

O indicador da taxa de reciclagem foi eliminado pelos especialistas apesar de ter sido destacado por diversos autores (TRAPPEY; TRAPPEY; WU, 2010; OLUGU; WONG; SHAHAROUN, 2011; PANDIAN; ABDUL-KADER, 2017). Ele mede a quantidade de material reciclado em comparação com a quantidade de material que poderia ter sido reciclada. De certa forma é difícil de se quantificar o material que poderia ser reciclado e este pode ter sido o motivo da eliminação deste indicador.

Dos 9 indicadores para a remanufatura, cinco foram eliminados, entre eles a segurança e treinamento dos funcionários, que está envolvida na eficiência e eficácia com que a remanufatura é realizada, a capacidade da empresa em remanufaturar tudo o que ela recebe e o uso de energia e de energias renováveis no processo. Nikolaou, Evangelinos e Allan (2013) destacam os indicadores de uso de energia, uso de energias renováveis e treinamento dentro da responsabilidade social e ambiental da empresa, considerando indicadores do GRI. Assim, estes indicadores eliminados avaliavam a sustentabilidade desta atividade.

O indicador de lucro com a reutilização, destacado por Wang et al. (2019), mede o lucro que a empresa teve ao reutilizar um material proveniente de retorno no lugar de uma matéria prima virgem. Quando o custo de uma matéria prima virgem é maior que o custo envolvido na recuperação desta matéria prima proveniente do retorno a LR é viabilizada e sua importância é destacada, pois traz uma economia para a empresa. Mesmo assim, este indicador foi eliminado pelos especialistas, que podem ter considerado que a empresa já fez um estudo de viabilidade do retorno dos produtos antes de implantar a LR.

Os custos e a taxa de disposição final são selecionados como importantes pelos especialistas. Estes indicadores avaliam a quantidade de material que não tem mais valor para ser recuperado e os custos envolvidos na sua destinação e no tratamento de resíduos perigosos (OLUGU; WONG; SHAHAROUN, 2011). O ideal é que a taxa de disposição final seja a menor possível e que todos os componentes retornados possam ser realocados em alguma atividade. O indicador de “disponibilidade de opções para disposição final” foi eliminado. Ele requer o



conhecimento de todas as opções para descarte de um produto com as opções utilizadas pela empresa. Os especialistas podem ter considerado que este estudo já foi previamente feito no design da LR e não necessitar ser reavaliado periodicamente.

## 5.2. FERRAMENTA PARA AD DA LR

A ferramenta proposta nesta pesquisa permite que a empresa a adapte de acordo com a sua realidade. Ela serve como base para a implantação de um sistema de AD para a LR de pós consumo para empresas de manufatura. O referencial teórico já abordou a importância de um sistema de AD para o controle e gestão de qualquer processo e de toda a empresa. Desta forma, esta ferramenta não só auxilia na implementação da avaliação mas também da LR em si, ao destacar e descrever as principais atividades a serem desenvolvidas e mostrar como controlá-las.

É destacado na literatura, por diversos autores, que o sistema de AD deve estar intimamente relacionado com a estratégia e os objetivos da empresa (NEELY, 1999; BOURNE et al., 2000; BEHN, 2003; NEELY; GREGORY; PLATTS, 2005; FRANCO-SANTOS et al., 2007; BITITCI et al., 2012; MELNYK et al., 2014). Desta forma, esta ferramenta se enquadra neste requisito ao possibilitar que os gestores avaliam os indicadores selecionados e sejam livres para alterá-los ou acrescentar ou eliminar algum indicador. Os gestores ainda são consultados para o cálculo dos pesos de cada indicador e de cada atividade, onde as prioridades da empresa serão refletidas na hierarquização dos indicadores e no cálculo do indicador integrativo. Dois dos especialistas consultados deixaram sua opinião quanto aos indicadores e a ferramenta em si. O especialista 1 destaca que é difícil de generalizar a importância dos indicadores pois eles podem ser diferentes para cada empresa. Este fato é respeitado quando a empresa tem a liberdade de incluir ou excluir algum indicador e calcula os pesos relativos dos mesmos de acordo com as suas expectativas e necessidades. Já o especialista 2 propõe mudanças na formulação de alguns indicadores. Como forma de atender estas sugestões a ferramenta se apresenta desta forma adaptável, para que a empresa possa obter informações realmente importantes do seu sistema de AD.

Os indicadores foram elaborados de acordo com os pontos importantes apresentados por Neely, Gregory e Platts (2005), ao permitir a sua adaptação a estratégia da empresa, terem um objetivo claro e serem simples e fáceis de utilizar. Desta forma eles possibilitam a identificação de áreas problemáticas e possibilitam a aplicação de melhorias contínuas,

facilitando a tomada de decisão. Os indicadores variam de acordo com o seu local de aplicação (atividade) e não são generalizados para todo o processo e podem ser aplicados por empresas de diversos setores, o que permite uma comparação entre empresas. A ferramenta também propõe o controle destes indicadores e sua avaliação periódica, o que permite que eles continuem a trazer informações úteis para a empresa. Todos estes fatores vão de encontro com o proposto por Neely, Gregory e Platts (2005) para a elaboração dos critérios utilizados na AD (indicadores).

Assim, dentre os modelos já apresentados na literatura, este se destaca por avaliar todas as atividades presentes na LR considerando suas particularidades e por permitir uma maior adaptação para a realidade de cada empresa. Desta forma, as informações resultantes após a sua aplicação são de grande valia para a gestão e bom funcionamento da LR.

Ainda, percebe-se que não foram encontrados muitos indicadores na literatura a respeito da qualidade no desempenho das atividades e dos produtos em si. Dentro da atividade de teste e inspeção, a literatura propõe o indicador de condição dos produtos em fim de vida, com o intuito de avaliar a qualidade do produto retornado (WIBOWO; GRANDHI, 2017), porém, ele foi eliminado pelos especialistas. Assim, a ferramenta não dispõe de um indicador importante, pois a qualidade é frisada por diversos autores como um ponto que deve ser avaliado dentro da logística (REY, 1998; BEAMON, 1999; BOWERSOX; CLOSS, 2001) e é constantemente buscada dentro da LR (SHAIK; ABDUL-KADER, 2018). Além disso, não foram encontrados na literatura indicadores que consideram a ecoeficiência das atividades, área quem vem ganhando força devido as preocupações com o meio ambiente.

O exemplo numérico apresentado para uma empresa fictícia demonstra a aplicabilidade da ferramenta. Além de possibilitar uma adaptação da mesma a realidade de cada empresa, os resultados auxiliam na sua análise. O gráfico com o desempenho de cada atividade possibilita a identificação de qual atividade está com desempenho pior e necessita de ações de melhorias imediatas. É possível analisar cada indicador para encontrar onde realmente está o problema. Este fato auxilia muito na gestão da LR como um todo. A retroalimentação e acompanhamento contínuo da ferramenta resulta em um maior controle das atividades e um desempenho cada vez melhor, quando aplicadas as melhorias. Assim, a empresa pode desfrutar dos benefícios da LR e aumentar sua receita. Além disso, esta ferramenta possibilita um maior controle da LR, o que encoraja a sua implementação e auxilia no atendimento da legislação, como a PNRS no Brasil.

## 6. CONCLUSÃO

Esta pesquisa cumpriu com seu objetivo principal de desenvolver uma ferramenta para a AD da LR de pós-consumo de empresas de manufatura, apresentada no item 4.5. A construção desta ferramenta teve início com uma revisão da literatura sobre AD da LR e seleção dos artigos já desenvolvidos sobre o tema. A partir destes artigos e demais pesquisas a respeito da LR foi possível mapear os processos de retorno envolvidos na LR de pós-consumo, apresentados no item 4.2 e atendendo o primeiro objetivo específico. Este mapeamento destacou todas as atividades envolvidas no processo reverso e que foram utilizadas como base para construção da ferramenta. Foram identificados os indicadores para avaliar cada uma destas atividades nos artigos selecionados na revisão da literatura, conforme o segundo objetivo específico, apresentados no item 4.3. Especialistas da área foram consultados para a seleção dos indicadores mais importantes para cada atividade com o auxílio do FDM, que possibilita a seleção e eliminação dos indicadores de acordo com o seu grau de importância, atendendo o terceiro objetivo específico (item 4.4). Por fim, o item 4.6 apresenta um exemplo numérico a fim de demonstrar a aplicabilidade da ferramenta, cumprindo o quarto e último objetivo específico.

Apesar da pesquisa ter toda cautela e rigor acadêmico, todo trabalho deixa margem para futuras pesquisas. Uma primeira sugestão é a simulação de mais exemplos numéricos, considerando empresas que praticam apenas uma das atividades, ou atividades diferentes das já simuladas, para um estudo mais aprofundado da ferramenta proposta. Além disso, sugere-se também a aplicação da ferramenta em um caso real para atestar a sua aplicabilidade na prática. A proposta da ferramenta é de ser aplicável em qualquer setor da indústria de manufatura. Desta forma, outra sugestão é que casos reais sejam aplicados em diversos setores diferentes e sejam comparados para atestar se a ferramenta se enquadra nas particularidades de cada setor. Da mesma forma, sugere-se aplicar diversos casos reais dentro de um mesmo setor e compará-los, para que este setor em específico seja melhor entendido.

O método AHP foi utilizado para a definição dos pesos das atividades e dos indicadores. Uma sugestão de pesquisa futura é a utilização de outros métodos de decisão multicritério para os pesos, como o ANP, ou mesmo a utilização da lógica *fuzzy* junto ao AHP ou outro método. Por fim, outra sugestão seria um maior estudo dos indicadores, que nesta pesquisa são considerados como independentes uns dos outros. Em uma futura pesquisa pode-se averiguar a interrelação dos indicadores selecionados e como essa relação afeta no

desempenho da LR como um todo. Pode-se também propor uma adaptação dos indicadores selecionados, ou acréscimo de novos indicadores que considerem a qualidade e a ecoeficiência das atividades e dos produtos, já que estes dois pontos não aparecem na ferramenta.

## REFERÊNCIAS

- ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama de resíduos sólidos no Brasil 2017**. São Paulo, 2018.
- ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama de resíduos sólidos no Brasil 2018/2019**. São Paulo, 2019.
- BADENHORST, Amanda. A framework for prioritising practices to overcome cost-related problems in reverse logistics. **Journal of Transport and Supply Chain Management**, [s.l.], v. 7, n. 1, p.1-10, 31 maio 2013.
- BALLOU, Ronald. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos /Logística empresarial**. Tradução de Raul Rubenich. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.
- BARKER, Theresa J.; ZABINSKY, Zeldia B. A solid reverse supply Chain is critical in an era of scarce resources. **Industrial Engineer**, 2010, 42.4: 38-44.
- BEAMON, B. M. Measuring supply chain performance. **International Journal of Operations & Production Management**, v.9, n.3, p.275-292, 1999.
- BEHN, R. D. Why measure performance? Different Purposes require different measures. **Public Administration Review**, v. 63, p. 586-606, 2003.
- BEZERRA, Adriana dos Santos; DE FREITAS, Lúcia Santana. Desempenho da Logística Reversa e Sustentabilidade: reflexões sobre os modelos de avaliação de desempenho. **Revista ESPACIOS**, v. 37, n. 08, 2016.
- BITITCI, U. S.; GARENGO, P.; ATES, A.; NUDURUPATI, S. S. Value of maturity models in performance measurement. **International Journal of Production Research**, v. 53, n. 10, p. 3062-3085, 2015.
- BITITCI, Umit; GARENGO, Patrizia; DÖRFLER, Viktor; NUDURUPATI, Sai. Performance measurement: challenges for tomorrow\*. **International journal of management reviews**, v. 14, n. 3, p. 305-327, 2012.
- BJÖRKLUND, Maria; MARTINSEN, Uni; ABRAHAMSSON, Mats. Performance measurements in the greening of supply chains. **Supply Chain Management: An International Journal**, [s.l.], v. 17, n. 1, p.29-39, 20 jan. 2012.
- BOTELHO, Joacyr Machado; CRUZ, Vilma Aparecida Gimenes da. **Metodologia Científica**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013.
- BOWERSOX D.; CLOSS, D. **Logística empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimentos**. Editora Atlas. São Paulo, 2001.
- BUI, Tat Dat et al. Identifying sustainable solid waste management barriers in practice using the fuzzy Delphi method. **Resources, Conservation And Recycling**, [s.l.], v. 154, p. 104625, mar. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104625>.

BOURNE, M.; MILLS, J.; WILCOX, M.; NEELY, A.; PLATTS, K. Designing, implementing and updating performance measurement systems. **International Journal of Operations & Production Management**, v.20, n.7, p. 754-771, 2000.

BOUZON, Marina; GOVINDAN, Kannan; RODRIGUEZ, Carlos Manuel Taboada. Reducing the extraction of minerals: Reverse logistics in the machinery manufacturing industry sector in Brazil using ISM approach. **Resources Policy**, [s.l.], v. 46, p.27-36, dez. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.resourpol.2015.02.001>.

BOUZON, Marina, GOVINDAN, Kannan, RODRÍGUEZ, Carlos M. T.; CAMPOS, Lucila. M. S. Identification and analysis of reverse logistics barriers using fuzzy Delphi method and AHP. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 108, p. 182-197, 2016

BRASIL. Senado Federal. Projeto de Lei do Senado nº 263, de 2018. Disponível em: < <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/133434> >. Acesso em: 8 ago. 2018.

BUTZER, Steffen; SCHÖTZ, Sebastian; PETROSCHKE, Matthias; STEINHILPER, Rolf. Development of a Performance Measurement System for International Reverse Supply Chains. **Procedia Cirp**, [s.l.], v. 61, p.251-256, 2017.

CARNEIRO-DA-CUNHA, Julio Araujo; HOURNEAUX JR, Flavio; CORRÊA, Hamilton Luiz. Evolution and chronology of the organisational performance measurement field. **International Journal of Business Performance Management**, v. 17, n. 2, p.223-240, 2016.

CHAVES, L. C.; ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R.; VALMORBIDA, S. M. I.; DA ROSA, F. S. Sistemas de apoio à decisão: mapeamento e análise de conteúdo. **Revista Eletrônica de Ciência Administrativa**, [s.l.], v. 12, n. 1, p.6-22, 30 abr. 2013.

CHEN, Chen-tung. A fuzzy approach to select the location of the distribution center. **Fuzzy Sets and Systems**, [s.l.], v. 118, n. 1, p.65-73, fev. 2001.

CHENG, Eddie W.L.; LI, Heng. Analytic hierarchy process. **Measuring business excellence**, 2001.

CHOONG, K. K. Has this large number of performance measurement publications contributed to its better understanding? A systematic review for research and applications. **International Journal of Production Research**, v.52, n.14, p. 4174-4197, 2014.

DALKEY, Norman; HELMER, Olaf. An Experimental Application of the DELPHI Method to the Use of Experts. **Management Science**, [s.l.], v. 9, n. 3, p.458-467, abr. 1963. Institute for Operations Research and the Management Sciences (INFORMS). <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.9.3.458>.

DAUGHERTY, Patricia J. et al. Reverse logistics: superior performance through focused resource commitments to information technology. **Transportation Research Part e: Logistics and Transportation Review**, v. 41, n. 2, p.77-92, mar. 2005.

DOWLATSHAHI, Shad. Developing a Theory of Reverse Logistics. **Interfaces**, [s.l.], v. 30, n. 3, p.143-155, jun. 2000.

ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R.; LACERDA, R. T. D. O.; TASCIA, J. E. ProKnow-C, knowledge development process-constructivist. Processo técnico com patente de registro pendente junto ao INPI. Brasil, 2010.

FRANCO-SANTOS, M.; KENNERLEY, M.; MICHELI, P.; MARTINEZ, V.; MASON, S.; MARR, B.; GRAY, D.; NEELY, A. Towards a Definition of a Business Performance Measurement System. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 27, n. 8, p. 784-801, 2007.

GUARNIERI, Patricia; SILVA, Lucio Camara e; LEVINO, Natallya A.. Analysis of electronic waste reverse logistics decisions using Strategic Options Development Analysis methodology: A Brazilian case. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 133, p.1105-1117, out. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.025>.

GHALAYINI, Alaa M.; NOBLE, James S. The changing basis of performance measurement. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 16, n. 8, p.63-80, 1996.

GEYER, Roland; JAMBECK, Jenna R.; LAW, Kara Lavender. Production, use, and fate of all plastics ever made. **Science Advances**, v. 3, n. 7, e1700782, 9 jul. 2017.

GIL, Antonio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GOVINDAN, Kannan; BOUZON, Marina. From a literature review to a multi-perspective framework for reverse logistics barriers and drivers. **Journal of Cleaner Production**, v. 187, p. 318-337, 2018.

HAMMES, Gabriela; SOUZA, Eduarda Dutra de; RODRIGUEZ, Carlos Manuel Taboada; MILLAN, Rafael Humberto Rojas; HERAZO, Julio César Mojica. Evaluation of the reverse logistics performance in civil construction. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 248, p.119212, mar. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119212>.

HERNÁNDEZ, Cecilia Toledo; MARINS, Fernando Augusto Silva; CASTRO, Roberto Cespón. Modelo de Gerenciamento da Logística Reversa. **Gestão & Produção**, v. 19, n. 3, p.445-456, 2012.

ILGIN, Mehmet Ali. An integrated methodology for the used product selection problem faced by third-party reverse logistics providers. **International Journal of Sustainable Engineering**, [s.l.], v. 10, n. 6, p.399-410, 19 abr. 2017. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/19397038.2017.1317873>.

JANSE, Bastiaan; SCHUUR, Peter; DE BRITO, Marisa P. de. A reverse logistics diagnostic tool: the case of the consumer electronics industry. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 47, n. 5-8, p.495-513, 6 nov. 2009.

LEBAS, Michel J. Performance measurement and performance management. **International Journal of Production Economics**, v. 41, n. 1-3, p.23-35, out. 1995.

LEITE, P.R. **Logística reversa: meio ambiente e competitividade**. 2 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

MA, Zhuanglin et al. Constructing road safety performance indicators using Fuzzy Delphi Method and Grey Delphi Method. **Expert Systems With Applications**, [s.l.], v. 38, n. 3, p.1509-1514, mar. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2010.07.062>.

MELNYK, S. A.; BITITCI, U.; PLATTS, K.; TOBIAS, J.; ANDERSEN, B. Is performance measurement and management fit for the future? *Management Accounting Research*, v. 25, p. 173–186, 2014.

MICHELI, P.; MARI, L. The theory and practice of performance measurement. **Management Accounting Research**, v. 25, p. 147–156, 2014.

MIGUEL, A. C. M. et al. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. 2. ed. Editora Campus, 2012.

MIMOUNI, Faycal; ABOUABDELLAH, Abdellah. Proposition of a methodology to evaluate the performance of the production process via performance indicators of both the production process and reverse chain process. **ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences**, v. 11, n. 13, p. 8468-8474, 2016.

MONDRAGON, Adrian E. Coronado; LALWANI, Chandra; MONDRAGON, Christian E. Coronado. Measures for auditing performance and integration in closed-loop supply chains. **Supply Chain Management: An International Journal**, [s.l.], v. 16, n. 1, p.43-56, 25 jan. 2011. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/13598541111103494>.

MURRAY, Thomas J.; PIPINO, Leo L.; VAN GIGCH, John P.. A pilot study of fuzzy set modification of Delphi. **Human Systems Management**, [s.l.], v. 5, n. 1, p.76-80, 1985. IOS Press. <http://dx.doi.org/10.3233/hsm-1985-5111>.

NEELY, A. The performance measurement revolution: why now and what next? **International Journal of Operations & Production Management**, v. 19, n. 2, p. 205-228, 1999.

NEELY, Andy; GREGORY, Mike; PLATTS, Ken. Performance measurement system design: A literature review and research agenda. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 25, n. 12, p.1228-1263, 2005.

NIKOLAOU, Ioannis E.; EVANGELINOS, Konstantinos I.; ALLAN, S. A reverse logistics social responsibility evaluation framework based on the triple bottom line approach. **Journal of Cleaner Production**, [s.l.], v. 56, p.173-184, out. 2013.

NUDURUPATI, S.S.; BITITCI, U.S.; KUMAR, V.; CHAN, F.T.S. State of the art literature review on performance measurement. **Computers & Industrial Engineering**, v. 60, n. 2, p. 279-290, 2011.

OLUGU, Ezutah Udony; WONG, Kuan Yew; SHAHAROUN, Awaludin Mohamed. Development of key performance measures for the automobile green supply chain. **Resources, Conservation and Recycling**, [s.l.], v. 55, n. 6, p.567-579, abr. 2011.

OLUGU, Ezutah Udony; WONG, Kuan Yew. An expert fuzzy rule-based system for closed-loop supply chain performance assessment in the automotive industry. *Expert Systems with Applications*, [s.l.], v. 39, n. 1, p.375-384, jan. 2012.



PANDIAN, Gowtham Ravi Sankara; ABDUL-KADER, Walid. Performance evaluation of reverse logistics enterprise – an agent-based simulation approach. **International Journal of Sustainable Engineering**, [s.l.], v. 10, n. 6, p.384-398, 4 set. 2017.

POCHAMPALLY, Kischore K.; GUPTA, Surendra M.; GOVINDAN, Kannan. Metrics for performance measurement of a reverse/closed-loop supply chain. **International Journal of Business Performance and Supply Chain Modelling**, v. 1, n. 1, p.8–32, 2009.

PRAJAPATI, Himanshu; KANT, Ravi; SHANKAR, Ravi. Bequeath life to death: State-of-art review on reverse logistics. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 211, p.503-520, fev. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.187>.

PRAKASH, Chandra; BARUA, M.k. A combined MCDM approach for evaluation and selection of third-party reverse logistics partner for Indian electronics industry. **Sustainable Production and Consumption**, [s.l.], v. 7, p.66-78, jul. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.spc.2016.04.001>.

RAVI, V.; SHANKAR, Ravi. Analysis of interactions among the barriers of reverse logistics. **Technological Forecasting and Social Change**, [s.l.], v. 72, n. 8, p.1011-1029, out. 2005.

REY, M. Indicadores de desempenho logístico. Editora Longman. Mai.-Jun. 1998.

RICHEY, R. Glenn et al. Developing effective reverse logistics programs. **Industrial Marketing Management**, [s.l.], v. 34, n. 8, p.830-840, nov. 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indmarman.2005.01.003>.

ROBINSON, Adam. **Recapturing Reverse Logistics Expenses Through Blockchain**. 2018. Disponível em: <[https://www.supplychain247.com/article/recapturing\\_reverse\\_logistics\\_expenses\\_through\\_blockchain](https://www.supplychain247.com/article/recapturing_reverse_logistics_expenses_through_blockchain)>. Acesso em: 9 jan. 2020.

ROGERS, Dale S.; TIBBEN-LEMBKE, Ronal. **Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices**, RLEC Press, Pittsburgh, PA, 1999.

SAATY, Thomas L. How to make a decision: The analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, [s.l.], v. 48, n. 1, p.9-26, set. 1990. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-i](http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-i).

SANGWAN, Kuldip Singh. Key Activities, Decision Variables and Performance Indicators of Reverse Logistics. *Procedia Cirp*, [s.l.], v. 61, p.257-262, 2017.

SHAIK, Mohammed Najeeb; ABDUL-KADER, Walid. A hybrid multiple criteria decision making approach for measuring comprehensive performance of reverse logistics enterprises. **Computers & Industrial Engineering**, [s.l.], v. 123, p.9-25, set. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2018.06.007>.

SHAIK, Mohammed Najeeb; ABDUL-KADER, Walid. Comprehensive performance measurement and causal-effect decision making model for reverse logistics enterprise. **Computers & Industrial Engineering**, [s.l.], v. 68, p.87-103, fev. 2014.

SHAIK, Mohammed; ABDUL-KADER, Walid. Performance measurement of reverse logistics enterprise: a comprehensive and integrated approach. **Measuring Business Excellence**, [s.l.], v. 16, n. 2, p.23-34, 25 maio 2012.

SHAIK, Mohammed N.; ABDUL-KADER, Walid. Transportation in reverse logistics enterprise: a comprehensive performance measurement methodology. **Production Planning & Control**, [s.l.], v. 24, n. 6, p.495-510, 14 nov. 2013.

SKAPA, Radoslav; KLAPALOVÁ, Alena. Reverse logistics in Czech companies: increasing interest in performance measurement. *Management Research Review*, [s.l.], v. 35, n. 8, p.676-692, 13 jul. 2012.

SRIVASTAVA, S. Network design for reverse logistics. **Omega**, [s.l.], v. 36, n. 4, p.535-548, ago. 2008.

TAN, Albert Wee Kwan; YU, Wei Shin; ARUN, Kumar. Improving the performance of a computer company in supporting its reverse logistics operations in the Asia-Pacific region. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, [s.l.], v. 33, n. 1, p.59-74, fev. 2003.

TRAPPEY, Amy J.c.; TRAPPEY, Charles V.; WU, Chang-ru. Genetic algorithm dynamic performance evaluation for RFID reverse logistic management. **Expert Systems with Applications**, [s.l.], v. 37, n. 11, p.7329-7335, nov. 2010.

VALMORBIDA, Sandra Mara Iesbik; ENSSLIN, Sandra Rolim; ENSSLIN, Leonardo; RIPOLL-FELIU, Vicente Mateo. Rankings universitários mundiais. Que dizem os estudos internacionais? **Reice. Revista Iberoamericana Sobre Calidad, Eficacia y Cambio En Educación**, [s.l.], v. 142, n. 2016, p.5-29, 2016.

VAN CAMP, Jelle; BRAET, Johan. Taxonomizing performance measurement systems' failures. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v.65, n.5, p.672-693, 2016.

VARGAS, Luis G. An overview of the analytic hierarchy process and its applications. **European journal of operational research**, v. 48, n. 1, p. 2-8, 1990.

WANG, Han et al. An integrated MCDM approach considering demands-matching for reverse logistics. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 208, p.199-210, jan. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.131>.

WIBOWO, Santoso; GRANDHI, Srimannarayana. Evaluating the Performance of Recoverable End-of-life Products in the Reverse Supply Chain. **International Journal of Networked and Distributed Computing**, v. 5, n. 2, p. 71–79, 2017.

WIND, Yoram; SAATY, Thomas L. Marketing applications of the analytic hierarchy process. **Management science**, v. 26, n.7, p. 641-658, 1980.

XU, Subo. An Optimized Performance Analysis of Closed Loop Supply Chain of Third Party Logistics based on Analytic Hierarchy Process. **Revista de la Facultad de Ingeniería**, v. 32, n. 12, p. 827-835, 2017.

YUSUF, Ijaz; RAOUF, Abdul. Reverse logistics: an empirical study for operational framework. **Proceedings of the Pakistan Academy of Sciences**, v. 50, n. 3, p.201-210, 2013.

## APÊNDICE A – Descrição

Lista com os 23 artigos selecionados para o PR.

<b>Autores e ano</b>	<b>Objetivo</b>	<b>Método</b>
<b>Tan, Yu e Arun (2003)</b>	Analisar o fluxo reverso de uma empresa que opera em diversos países e propor estratégias para melhorar a eficiência da LR e reduzir os custos operacionais. Também examina e propõe melhorias para a estrutura de TI (Tecnologia da Informação) da empresa.	Estudo de caso
<b>Daugherty et al. (2005)</b>	Analisar como o comprometimento de recursos e a capacidade do sistema de TI impactam no desempenho da LR.	Teste de hipóteses
<b>Pochampally et al., (2009)</b>	Identificar os tópicos de desempenho apropriados para uma cadeia de suprimentos reversa e propor um modelo para AD utilizando desdobramento da função qualidade - QFD ( <i>quality function deployment</i> ) e programação física linear - LPP ( <i>Linear physical programming</i> ) .	QFD e LPP
<b>Janse, Schuur e De Brito (2010)</b>	Construir uma ferramenta para diagnóstico da LR para identificar oportunidades de melhoria.	Survey e entrevistas
<b>Trappey, Trappey e Wu (2010)</b>	Construir um modelo de decisão para redes de LR utilizando mapas cognitivos <i>fuzzy</i> por meio de dados coletados por RFID	Mapas cognitivos <i>fuzzy</i>
<b>Olugu, Wong e Shaharoun (2011)</b>	Estabelecer medidas para a AD de uma cadeia de suprimentos verde da indústria automotiva	Survey e estudo de caso
<b>Mondragon, Lalwani e Mondragon (2011)</b>	Propor um conjunto de medidas para fins de auditoria de uma cadeia de suprimentos de ciclo fechado com devoluções simultâneas de um produto	Estudo de caso
<b>Olugu e Wong (2012)</b>	Desenvolver um sistema de AD para auxiliar tomadores de decisão nas cadeias de suprimento de ciclo fechado. Os indicadores utilizados são baseados em uma pesquisa anterior dos mesmos autores.	Estudo de caso
<b>Skapa e Klapalova (2012)</b>	Estudar a realidade da LR na República Checa em particular a AD da LR.	Survey
<b>Hernández, Martins e Castro (2012)</b>	Propor um modelo conceitual que proporciona um orientação sobre as ferramentas a serem utilizadas para a tomada de decisão em LR.	Entrevistas e ANP
<b>Shaik e Abdulkader (2012)</b>	Analisar na literatura o que existe sobre AD na LR e propor um framework para um sistema de AD da LR.	Balanced scorecard (BSC),

		<i>Performance Prism (PP) e AHP</i>
<b>Shaik e Abdulkader (2013)</b>	Apresentar um sistema de AD para o sistema de transporte da LR	BSC, PP e AHP
<b>Nikolaou, Evangelinos e Allan (2013)</b>	Desenvolver um framework com indicadores baseados no tripé da sustentabilidade para avaliar o desempenho da responsabilidade social da LR.	Revisão da literatura
<b>Shaik e Abdulkader (2014)</b>	Propor um modelo de tomada de decisão e AD abrangente para a LR	BSC, PP e DEMATEL ( <i>Decision-making trial and evaluation laboratory</i> )
<b>Mimouni e Abouabdellah (2016)</b>	Propor uma metodologia para avaliar o desempenho dos processos de produção na reparação de produtos retornados e os processos envolvidos no canal de retorno, e aplicá-lo em uma indústria.	Estudo de caso
<b>Xu (2017)</b>	Estabelecer um sistema de AD para empresas terceirizadas de LR	AHP
<b>Wibowo e Grandhi (2017)</b>	Apresentar um modelo de decisão multicritério para avaliar a cadeia de suprimentos reversa de produtos em fim de vida.	Triangularização <i>fuzzy</i>
<b>Sangwan (2017)</b>	Desenvolver indicadores chave para as principais atividades da LR.	
<b>Butzer et al. (2017)</b>	Desenvolver um sistema de AD para medir uma cadeia de suprimentos reversa internacional.	BSC adaptado
<b>Pandian e Abdulkader (2017)</b>	Propor um método de AD para empresas de LR utilizando a técnica de simulação baseada em agentes, onde os agentes considerados são: Coletor, Classificador, Recondicionador, Reciclador, Fornecedor e Distribuidor.	Simulação baseada em agente e estudo de caso
<b>Shaik e Abdulkader (2018)</b>	Propor um modelo para AD da LR baseado na interdependência e no relacionamento entre os diversos atributos de desempenho	DEMATEL, <i>Fuzzy ANP</i> e AHP

<b>Wang et al. (2019)</b>	Um método de tomada de decisão de múltiplos critérios orientado para correspondência de demanda é apresentado para identificar o melhor modo de coleta de componentes usados	AHP, EW ( <i>Entropy Weight</i> ) e MABAC ( <i>Multi-Attributive Border Approximation Area Comparison</i> )
---------------------------	--	--

Fonte: Elaborada pela autora (2020).