

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Amália Koefender

**Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos sob a ótica da Economia Circular:
barreiras e fatores importantes para a circularidade dos materiais**

Porto Alegre

2020

Amália Koefender

**Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos sob a ótica da Economia Circular:
barreiras e fatores importantes para a circularidade dos materiais**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, modalidade Acadêmica, na área de concentração em Sistemas de Produção.

Orientador: Prof. Fernando Gonçalves Amaral, Dr.

Porto Alegre

2020

Amália Koefender

**Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos sob a ótica da Economia Circular:
barreiras e fatores importantes para a circularidade dos materiais**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção na modalidade Acadêmica e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Prof. Fernando Gonçalves Amaral, Dr.
Orientador PPGEP/UFRGS

Prof. Alejandro Gérman Frank, Dr.
Coordenador PPGEP/UFRGS

Banca Examinadora:

Professor Magali da Silva Rodrigues, Dra. (IFRS/POA)

Jéssica Weiler, Dra. (LTM/UFRGS)

Professor Darci Barnech Campani, Dr. (DEMEC/AGA/UFRGS)

Aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Anelise e Eduardo, pelo exemplo, pela inspiração e pelo apoio de sempre. Toda a minha admiração e gratidão a eles.

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP), pela infraestrutura e recursos disponibilizados. E aos professores pelos conhecimentos e as valiosas contribuições à minha formação.

Agradeço à empresa Arco, à Natália e toda equipe, por todo o conhecimento, aprendizado, paciência, parceria e incentivo para conclusão dessa etapa. Foram eles que deram sentido a esse trabalho, mostrando a força de um propósito sonhado em conjunto.

Ao meu namorado e parceiro de todas as horas, Fabrício, que me motiva todos os dias a ser uma pessoa melhor, pela paciência e pelo apoio fundamentais para esse processo.

Ao Professor Fernando G. Amaral, pela orientação, disponibilidade e contribuições para melhorias desse trabalho.

À CAPES pelo auxílio financeiro.

À minha família e amigos, pelo apoio, compreensão e parceria nessa caminhada.

A todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para a conclusão dessa etapa.

“Sonhar grande e sonhar pequeno dá o mesmo trabalho”.

Jorge Paulo Lemann

RESUMO

A Economia Circular surge como uma forma de superar as limitações de uma economia linear, conciliando os anseios por desenvolvimento econômico e proteção ambiental. É definida como um sistema industrial que é restaurador ou regenerativo, por intenção e design, e que substitui o conceito de 'fim de vida' por restauração. O interesse na recuperação de produtos e materiais amplia o escopo do gerenciamento tradicional da cadeia de suprimentos, incluindo o canal reverso e por isso a gestão de resíduos é muito relevante na transição para uma Economia Circular. A gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) ainda é muito focada no gerenciamento dos resíduos pós-consumo, carecendo do pensamento sistêmico da Economia Circular. Esta dissertação aborda a Gestão de RSU dentro dos princípios da Economia Circular, investigando as barreiras e fatores importantes para viabilizar iniciativas que visam a circularidade dos materiais e produtos. Com base na metodologia de Estudo de caso, a dissertação é organizada em três artigos. O Artigo 1 contribui com a investigação da literatura, através de uma revisão sistemática, explorando o conceito de Economia Circular e as eventuais barreiras encontradas na aplicação de seus princípios, detectadas através da Avaliação do Ciclo de Vida. A partir de então, com foco em gestão de resíduos foram selecionados dois estudos de caso, desenvolvidos nos dois artigos seguintes. No segundo artigo as embalagens de vidro foram escolhidas para ilustrar a realidade do mercado de reciclagem no Brasil e sua potencial aderência à Economia Circular, através de revisão da literatura e elaboração de questionários respondidos por empresas e entidades envolvidas no ciclo reverso do vidro. Por fim, o terceiro artigo investiga o valor percebido pelo cliente e os atributos considerados mais importantes através do método *Analytical Hierarchy Process* (AHP) em um serviço de coleta e destinação de resíduos que prioriza o reaproveitamento de materiais, viabilizando assim a Economia Circular dentro de centros urbanos. Os resultados apontam barreiras técnicas, ambientais, econômicas, comportamentais e mercadológicas, além das lacunas de definições, indicadores e outros estudos para a implementação bem-sucedida de uma Economia Circular. Verifica-se algumas dessas barreiras em relação a circularidade das embalagens de vidro no Brasil, como as distâncias de transporte, relação econômica e incerteza de mercado. Ambos os artigos revelam a complexidade dos sistemas necessários para garantir a circularidade dos materiais, onde cada setor envolvido é essencial para o ciclo reverso dos materiais. Sendo assim, o serviço de coleta é um elo importante desse sistema e o valor percebido pelos clientes parece alinhado com os princípios da Economia Circular, sendo os atributos mais importantes o desvio de aterro sanitário, geração de benefício social e qualidade do serviço de coleta. A contratação do serviço parece estar associada a um nível elevado de consciência ambiental, por isso iniciativas de educação e conscientização ambiental são muito importantes para disseminação de serviços que viabilizam a Economia Circular.

Palavras-chave: Economia Circular, Gestão de Resíduos, Ciclo Reverso, Valor percebido

ABSTRACT

Circular Economy presents as a way to overcome the limitations of a linear economy, protecting the environment while promoting economic development. It is defined as an industrial system that is restorative or regenerative by intention and design, and that replaces the concept of 'end of life' with restoration. The interest in recovering products and materials broadens the scope of traditional supply chain management, and includes the reverse channel, traditionally considered part of waste management. For this reason, waste management is considered the most relevant sub-sector in the Circular Economy. The management of solid urban waste (SWM) still focuses a lot on post-consumer waste, and lacks the systemic thinking of Circular Economy. This dissertation addresses SWM within the premises of Circular Economy, investigating its barriers and what makes circular initiatives interesting to its customers. Based on the Case Study methodology, the dissertation is organized in the form of three articles. Article 1 contributes to the investigation of the literature, through a systematic review, exploring the concept of Circular Economy and the possible barriers found in the application of its principles, detected through the Life Cycle Assessment. Focusing on waste management, two case studies were selected and developed into two articles. In the second article, glass packaging was chosen to illustrate the reality of the recycling market in Brazil and its potential adherence to the Circular Economy, through a literature review and questionnaires answered by companies and entities involved in the reverse cycle of glass. Finally, the third article investigates the client perceived value and the attributes considered most important through the Analytical Hierarchy Process (AHP) method in a waste collection and disposal service that prioritizes the reuse of materials, thus enabling Circular Economy within urban centers. The results point to technical, environmental, economic, behavioral and market barriers, in addition to the gaps in definitions, indicators and other studies for the successful implementation of a Circular Economy. Some of the same barriers were found to the circularity of glass packaging in Brazil, such as transportation distances, economic relationship and market uncertainty. Both articles reveal the complexity of the systems necessary to guarantee the circularity of the materials, where each sector involved is essential for the reverse cycle of the materials. Thus, the collection service is an important link in this system and the customer perceived value seems to be in line with the principles of Circular Economy. The most important attributes being the diversion of landfill, generation of social benefit and quality of the collection service. The contracting of the service seems to be associated with a high level of environmental awareness, which is why environmental education and awareness initiatives are very important for the dissemination of services that make Circular Economy viable.

Keywords: Circular Economy, Waste Management, Reverse cycle, Customer Perceived Value

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Método de Estudo de Caso (Adaptado de YIN, 2001)	25
Figura 2 Etapas do processo de seleção dos artigos da revisão sistemática	33
Figura 3 Número de artigos selecionados publicados anualmente.....	35
Figura 4 Distribuição dos artigos selecionados por país de origem.....	36
Figura 5 Peso relativo médio e seus desvios de cada atributo analisado.....	94
Figura 6 Peso relativo médio e seus desvios de cada atributo analisado.....	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Artigos selecionados pela revisão sistemática	33
Tabela 2 Respondentes do questionário e classificação das respectivas entidades .	67
Tabela 3 Resultado da análise com todos os entrevistados	93
Tabela 4 Resultado da análise com entrevistas selecionadas	95

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 Resumo das barreiras encontradas e sua natureza.....	44
Quadro 2 Critérios, descrição e dimensão relativa da escala SERV-PERVAL.....	89
Quadro 3 Descrição dos estabelecimentos, representante entrevistado e público .	90
Quadro 4 Peso relativo dos atributos para cada um dos entrevistados.	92

LISTA DE SIGLAS

EC	Economia Circular
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
AHP	<i>Analytical Hierarchy Process</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. Contextualização: Economia Circular	15
1.2. Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)	16
1.2.1. Materiais	18
1.2.2. Serviços	19
1.3. Tema	19
1.4. Questões de pesquisa	20
1.5. Objetivos	20
1.5.1. Objetivo Geral	20
1.5.2. Objetivos Específicos	20
1.6. Justificativa	21
1.7. Procedimentos metodológicos da pesquisa	22
1.8. Delimitações do estudo	23
1.9. Estrutura	24
2. ARTIGO 01 – Economia Circular e as barreiras identificadas através da Avaliação do Ciclo de Vida: uma Revisão Sistemática	26
2.1. Introdução	27
2.2. Metodologia	29
2.2.1. Perguntas de pesquisa, banco de dados e termos de busca	30
2.2.2. Busca e seleção preliminar	30
2.2.3. Avaliação do conteúdo	31
2.2.4. Extração de dados	32
2.3. Resultados e discussão	32
2.3.1. Definição de Economia Circular	36
2.3.2. Relação entre Economia Circular e Avaliação do Ciclo de Vida	38
2.3.3. Barreiras à implementação da Economia Circular	40
2.4. Conclusão	45
2.5. Referências	47

3.	ARTIGO 02 – Investigação da aderência de embalagens de vidro à Economia Circular e a realidade do Brasil	54
3.1.	Introdução	55
3.2.	Metodologia.....	58
3.2.1.	Etapa 1 - Revisão da Literatura	58
3.2.2.	Etapa 2 - Preparação e aplicação de questionário específico	59
3.2.3.	Etapa 3 – Análise e Conclusão	59
3.3.	Resultados.....	60
3.3.1.	Revisão da Literatura	60
3.3.2.	Análise dos questionários	67
3.4.	Discussão	69
3.5.	Conclusão.....	71
3.6.	Referências	74
3.7.	Apêndice A.....	80
4.	ARTIGO 03 – Viabilizando a Economia Circular: Valor percebido pelo cliente em empresa de coleta e destinação de resíduos sólidos.....	81
4.1.	Introdução	82
4.2.	Metodologia.....	86
4.2.1.	Estudo de caso	87
4.2.2.	Entrevistas	88
4.2.3.	Analytical Hierarchy Process (AHP)	88
4.2.4.	SERV-PERVAL	88
4.2.5.	Análises dos resultados	90
4.3.	Resultados.....	90
4.3.1.	Entrevistados	90
4.3.2.	Pesos relativos e ordenamento	91
4.4.	Discussão	96
4.4.1.	Limitações da pesquisa	99
4.5.	Conclusão.....	99
4.6.	Referências	101

4.7.	Anexo A.....	105
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	106
5.1.	Conclusões.....	106
5.2.	Sugestões para trabalhos futuros.....	108
6.	REFERÊNCIAS.....	109

1. INTRODUÇÃO

Os padrões de consumo e produção atuais fazem parte de uma economia linear, sendo esta baseada na sequência de 'extração, produção, consumo, disposição final'. Esse modelo, aliado ao desenvolvimento econômico e à projeção das Nações Unidas de crescimento populacional mundial de 25-35% até 2050 (UN, 2017; KRAUSMANN *et al.*, 2009), pode acelerar o aumento do uso de recursos naturais, assim como seus impactos. Além disso, o tempo de vida útil dos produtos de consumo parece diminuir constantemente, aumentando o fluxo de materiais (BAKKER *et al.*, 2014) e, conseqüentemente, a geração de resíduos. Esses recursos são finitos e, em muitos casos, não renováveis, por isso é natural que o atual modelo de consumo e todos os impactos associados possam ser questionados. Diversas discussões enfatizam a necessidade de mudança da estrutura econômica atual, que supõe recursos ilimitados, em direção a um sistema mais fechado. A Economia Circular surge como uma forma de superar as limitações de uma economia linear, conciliando os anseios por desenvolvimento econômico e proteção ambiental (LIEDER & RASHID, 2016).

1.1. Contextualização: Economia Circular

A definição de Economia Circular não é estática e contém diversos princípios e propostas que surgiram nas últimas décadas (MERLI *et al.*, 2018). No estudo de Ghisellini *et al.* (2016) é apontado que o conceito de Economia Circular tem origem em diversas outras bases teóricas como Economia Ecológica, Economia Ambiental e Ecologia Industrial. A Fundação Ellen MacArthur (2013) também atribui o conceito a outras teorias mais recentes como Design Regenerativo, Economia de Desempenho, *Cradle to Cradle*, Biomimética e *Blue Economy*.

A Economia Circular é definida como um sistema industrial que é restaurador ou regenerativo por intenção e design. Substitui o conceito de 'fim de vida' por restauração, muda para o uso de energia renovável, elimina o uso de produtos químicos tóxicos, que prejudicam a reutilização, e visa a eliminação de resíduos através do design de materiais,

produtos e sistemas, abrangendo também modelos de negócios (EMF, 2013). Assim, a Economia Circular é um modelo que reconhece o papel fundamental do meio ambiente, suas funções, e a interação entre meio ambiente e sistema industrial e econômico (GHISELLINI *et al.*, 2016). Além disso, traz uma abordagem sistemática para enfrentar os desafios da escassez de recursos, impactos ambientais e desenvolvimento econômico (LIEDER & RASHID, 2016). Para viabilizar a Economia Circular é essencial que haja interação dinâmica entre modelos de negócios, design de produtos, cadeias de suprimentos e clientes (LIEDER & RASHID, 2016). Entre diversos aspectos da Economia Circular, a gestão de resíduos é considerada o subsetor mais relevante (MERLI *et al.*, 2018). É essencial para o fechamento dos ciclos e imprescindível nessa transição (GEISSDOERFER *et al.*, 2018). A seguir, serão apresentados conceitos da Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos no contexto da economia circular e aspectos relacionados a materiais e serviços dentro da proposta deste trabalho.

1.2. Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)

A gestão de resíduos aborda um desafio duplo, pois o descarte de resíduos causa impactos no meio ambiente e na saúde da população, e também representa desperdício de recursos. De acordo com ORDOÑEZ & ROHE (2013), o desperdício é consequência de um problema, a ineficiência, e ao mesmo tempo causa de outro, impactos no meio ambiente e na saúde humana.

O interesse na recuperação de produtos e materiais amplia o escopo do gerenciamento tradicional da cadeia de suprimentos, incluindo o canal reverso, que compreende também usuários finais, coletores e remanufaturadores (Akçalı *et al.*, 2009), tradicionalmente considerados parte da gestão de resíduos. Por isso, a gestão de resíduos é considerada o subsetor mais relevante (MERLI *et al.*, 2018) da Economia Circular. É essencial para o fechamento dos ciclos e imprescindível na transição do sistema atual para um circular (GEISSDOERFER *et al.*, 2018). A inclusão de resíduos no design de produtos e processos permite fechar o ciclo de materiais, aumentando o reaproveitamento dos materiais enquanto minimiza o uso de matéria-prima virgem e a poluição ambiental (GHISELLINI *et al.*,

2016). Nos casos onde existe colaboração entre design industrial e gerenciamento de resíduos, os materiais são planejados de forma a viabilizar o seu reaproveitamento após o uso, sendo efetivamente reincorporados nos fluxos produtivos (ORDOÑEZ & RAHE, 2013).

Em um circuito fechado, a cadeia de suprimentos passa a incluir os fornecedores, indústrias, centros de distribuição, varejo, consumidores, centros de coleta, usinas de reciclagem e centros de descarte (ACCORSI *et al.*, 2015), e se torna necessária uma visão sistêmica e ampla comunicação entre todos os setores envolvidos (GILBERT *et al.*, 2017, GIUGLIANO *et al.*, 2011). O desenvolvimento de produtos e processos também se torna mais desafiador quando deve levar em consideração todas as etapas necessárias para atingir a circularidade. Por isso, ainda existem poucas histórias de sucesso de iniciativas de Economia Circular (SINGH & ORDOÑEZ, 2016; ORDOÑEZ & RAHE, 2013). A colaboração entre design industrial e gerenciamento de resíduos já existe em alguns setores, mas ainda são poucos casos em comparação ao universo de gestão de resíduos (ORDOÑEZ & RAHE, 2013). Além disso, a Gestão de Resíduos Sólidos dentro de centros urbanos enfrenta diversos desafios com relação à coleta, tratamento e disposição adequada dos resíduos, ainda mais quando se prioriza o gerenciamento sustentável dessas operações (MELARÉ *et al.*, 2017). Mundialmente, estima-se que apenas 30% dos resíduos coletados são reaproveitados de alguma maneira, sendo que somente 21% se refere a alguma forma de reutilização dos materiais para produção de outros, o restante é somente reaproveitamento energético (CHALMIN & GAILLOCHET, 2009; SINGH & ORDOÑEZ, 2016).

A Economia Circular busca a recirculação de recursos, e isso envolve todo o sistema produtivo. Assim, a Economia Circular aborda a gestão de resíduos de uma forma sistêmica, planejando e desenvolvendo produtos cujos resíduos sejam minimizados ou reaproveitados. No Brasil a gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) é regulamentada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, 2010), que aponta que deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Entretanto, a gestão de RSU, não só no Brasil, ainda foca muito no gerenciamento dos resíduos pós-

consumo, e carece do pensamento sistêmico da Economia Circular (SINGH & ORDOÑEZ, 2016). Os avanços esperados como consequências da PNRS no Brasil ainda não foram alcançados, e o setor apresenta deficiências expressivas. A coleta seletiva está distante de ser universalizada no país (ABRELPE, 2019), o SNIS (2019) aponta que 31% da população urbana total do país é atendida por esse serviço. As taxas de recuperação de materiais são baixas e parecem pouco evoluir, e a disposição final de resíduos ainda não foi totalmente resolvida (29,5 milhões de toneladas de RSU foram despejados em locais inadequados em 2018) (ABRELPE, 2019). A PNRS reconhece que o RSU é um bem econômico, que pode gerar renda, e por isso também prioriza a inclusão de cooperativas e associações de catadores de materiais recicláveis nos sistemas integrados de gestão de resíduos sólidos urbanos (DE SOUZA *et al.*, 2016). Ainda assim, um pouco menos de um milhão de toneladas de resíduos foram recuperados através da reciclagem em 2017, o que representa 1,65% do total de resíduos domiciliares e públicos coletados no país, ou 5,4% da massa total potencialmente recuperável de recicláveis (SNIS, 2019). Para que seja possível perceber uma mudança no cenário atual, é necessário que seja minimizada a geração de resíduos, ao mesmo tempo em que os resíduos sejam amplamente percebidos como matéria-prima para novos produtos (ORDOÑEZ & RAHE, 2013).

1.2.1. Materiais

O gerenciamento do ciclo completo de vida dos produtos é importante para garantir a circularidade dos materiais. Para isso, são necessárias sinergias industriais de larga escala para coletar, reciclar, reutilizar e recuperar os produtos ao fim de sua vida útil (ACCORSI *et al.*, 2015). Isso significa que a reciclabilidade dos materiais depende de diversos fatores que vão além da tecnologia de reciclagem. A disponibilidade de infraestrutura para a reciclagem é essencial para garantir que os materiais sejam efetivamente reciclados (SAKUNDARINI *et al.*, 2014). Todos esses fatores dependem do tipo de material (SAKUNDARINI *et al.*, 2014) e cada um deles apresenta diferentes taxas e potencial de reciclagem. Ainda, Birat (2015) indica que a Economia Circular deve se concentrar em cada tipo de material separadamente.

Neste estudo o vidro foi o material escolhido para ilustrar a realidade do mercado de reciclagem no Brasil e identificar as barreiras, tanto técnicas quanto práticas.

1.2.2. Serviços de coleta e transporte de resíduos

A análise sistêmica do ciclo de vida de um produto envolve todas as etapas, não somente entre produção e consumo, mas incluindo também as etapas da coleta ao reaproveitamento. Dessa forma é possível desenvolver processos sustentáveis e detectar oportunidades para resolução de problemas ou melhorias (ACCORSI *et al.*, 2015). Além disso, idealmente, a circularidade dos materiais poderia ser alcançada através de um vínculo reverso direto entre usuários e fabricantes, mas os sistemas de distribuição e coleta de materiais também são capazes de viabilizá-la (SINGH & ORDOÑEZ, 2016). A sinergia entre todas as etapas demanda redes de transporte inovadoras, que viabilizem a reutilização, reciclagem e recuperação de produtos e materiais (ACCORSI *et al.*, 2015). Por exemplo, o planejamento de coletas de materiais separados pode ter efeitos importantes nos tratamentos subsequentes (GIUGLIANO *et al.*, 2011), e é incentivada em uma Economia Circular, devido ao aumento da eficiência do sistema (SINGH & ORDOÑEZ, 2016). O serviço de coleta de resíduos foi utilizado neste estudo para investigar os atributos mais importantes que podem incentivar a contratação desse elo importante na cadeia de suprimentos em ciclo fechado.

1.3. Tema

Diante do exposto, esta dissertação aborda a Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos dentro dos princípios da Economia Circular, investigando as barreiras e o valor percebido em iniciativas que visam a circularidade dos materiais e produtos. O estudo compreende aplicações dos princípios da Economia Circular, serviços que os viabilizam e a circularidade dos materiais, aqui ilustrada pelo ciclo reverso das embalagens de vidro.

1.4. Questões de pesquisa

Considerando as perspectivas da Economia Circular, seu potencial para enfrentar diversos desafios ambientais e o processo de transição necessário para alcançá-la, questiona-se: Quais as barreiras encontradas em iniciativas que visam a circularidade de produtos e materiais, como o vidro por exemplo? E além disso, quais os atributos mais valorizados em serviços que viabilizam a Economia Circular no setor de gestão de resíduos?

1.5. Objetivos

Os objetivos desta pesquisa foram estruturados em um objetivo geral e três objetivos específicos, conforme exposto nos itens 1.5.1 e 1.5.2.

1.5.1. Objetivo Geral

O objetivo geral desta dissertação é analisar a Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos sob a ótica da Economia Circular, considerando os processos de reaproveitamento do vidro como material circular, bem como os serviços que viabilizam a aplicação dos princípios da Economia Circular dentro de centros urbanos.

1.5.2. Objetivos Específicos

- a) Realizar uma revisão sistemática da literatura para investigar as barreiras da aplicação dos princípios da Economia Circular detectadas através da Avaliação do Ciclo de Vida (Artigo 1);
- b) Avaliar a aderência técnica e prática das embalagens de vidro à Economia Circular, e a realidade desse mercado no Brasil (Artigo 2);
- c) Analisar o valor percebido pelo cliente e os fatores considerados mais importantes em um serviço de coleta e destinação de RSU alinhado às premissas da Economia Circular (Artigo 3).

1.6. Justificativa

A Economia Circular é um conceito relativamente recente, cuja primeira publicação aconteceu no ano de 2004 e, a partir de 2008, se tornou um tópico de pesquisa amplamente discutido (MERLI *et al.*, 2018). As perspectivas da Economia Circular são atraentes (GHISELLINI *et al.*, 2016), e sua abordagem sistemática faz com que este movimento seja não só importante, mas inevitável (LIEDER & RASHID, 2016). Uma de suas premissas é de que os ciclos de diferentes materiais possam impulsionar a atividade econômica, enquanto busca reduzir e prevenir a extração de recursos naturais e o descarte de resíduos (LONCA *et al.*, 2018). Assim, o modelo traz uma perspectiva futura de geração de emprego e desenvolvimento econômico local (CIRAIG, 2015), além do potencial de redução da dependência de recursos naturais. Principalmente no caso de fontes não renováveis, suscetíveis à variação de preços e insegurança, a redução dessa dependência é muito importante para a redução de riscos (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013; LETT, 2014). A circularidade de recursos oferece diversos benefícios e por isso é muito importante avaliar como a sociedade e as indústrias podem participar dessa transição para uma Economia Circular (COBO & IRABIEN, 2018).

Apesar dos benefícios apontados, a Economia Circular traz a necessidade de uma transição do sistema linear baseado na sequência 'extração, produção, consumo, disposição final', para um sistema novo, circular e mais sustentável (SCHEEPENS *et al.*, 2016). Isso implica na adoção de padrões de produção mais limpos, maior responsabilidade e conscientização tanto da população quanto das empresas e indústrias, uso de tecnologias e materiais renováveis e circulares, e inclusive mudanças políticas (GHISELLINI *et al.*, 2016). A etapa de planejamento do produto é um ponto crucial em sistemas circulares (LIEDER & RASHID, 2016), pois deve priorizar materiais e processos que viabilizem o seu reuso de alguma forma dentro dos ciclos de consumo. A maioria dos modelos de negócios, produtos e cadeias de suprimento foram desenvolvidas para operar em sistemas lineares e por isso encontram grande dificuldade de se adaptar às dinâmicas de sistemas fechados (LIEDER & RASHID, 2016). Toda transição apresenta diversos desafios, e por ser uma mudança ampla

de sistema, que requer também uma mudança de mentalidade, esses desafios são ainda maiores. É importante investigar e analisar as barreiras encontradas nessa transição, de forma a colaborar com o movimento em direção a um sistema mais circular e sustentável.

A gestão de resíduos é um setor chave dentro da Economia Circular (MERLI *et al.*, 2018), e tem muito a se beneficiar de suas premissas. Isso pode ser percebido também pelo alinhamento com a ordem de prioridade definida pela PNRS no Brasil (BRASIL, 2010). Mesmo que teoricamente a legislação brasileira priorize o reaproveitamento à disposição final dos materiais, apenas uma pequena parcela dos resíduos coletados no país é recuperada (SNIS, 2019). Isso revela que a realidade da gestão de RSU no Brasil ainda não é satisfatória (ABRELPE, 2019). A gestão de resíduos dentro de centros urbanos enfrenta diversos desafios (MELARÉ *et al.*, 2017), e o estudo das barreiras encontradas para a reciclagem de materiais no país pode contribuir com dados importantes para o desenvolvimento do setor. Além disso, ainda existem poucas iniciativas que conseguem efetivamente garantir a circularidade dos materiais (SINGH & ORDOÑEZ, 2016). Por isso, é necessário entender como aumentar a incidência de casos de sucesso de aplicação das premissas da Economia Circular.

1.7. Procedimentos metodológicos da pesquisa

Esta dissertação foi desenvolvida com base em uma metodologia de Estudo de Caso, que é uma estratégia de pesquisa abrangente, onde o foco são fenômenos contemporâneos inseridos em condições contextuais que são importantes para o estudo (YIN, 2001). A partir dessa metodologia, foram utilizadas outras ferramentas de pesquisa para estruturar o estudo de caso.

Inicialmente, foi realizada uma Revisão Sistemática da literatura, que é uma forma de responder questões ou resumir a literatura sobre um dado assunto de maneira imparcial. É considerada sistemática por envolver estratégias científicas, descritas de forma que possam ser replicadas (COOK *et al.*, 1997; TRANFIELD *et al.*, 2003). Essa revisão foi utilizada como forma de explorar o conceito da Economia Circular e as eventuais barreiras encontradas na aplicação das suas premissas, detectadas através da Avaliação do Ciclo de Vida.

Com os resultados dessa revisão, pode-se então aprofundar o estudo no tema de gestão de resíduos mais especificamente. Com o objetivo de explorar a Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos sob a ótica da Economia Circular, foi necessário abordar o tema Gestão de Resíduos de diferentes pontos de vista. Inicialmente, buscou-se investigar as barreiras que dificultam a circularidade de um material, neste caso o vidro. Realizou-se então uma revisão teórica da literatura, focando na Economia Circular do vidro, tanto na literatura internacional, quanto em dados divulgados por entidades ligadas à gestão de resíduos no Brasil. Essa revisão serviu de base para a elaboração de um questionário com perguntas abertas direcionado a empresas envolvidas na cadeia do vidro no Brasil. A análise qualitativa do cenário e das barreiras do ciclo reverso do vidro foram fundamentados nos resultados dos questionários, através da triangulação de dados, em conjunto com as informações da revisão. O estudo do caminho do vidro ilustra os setores envolvidos no ciclo reverso dos materiais e os fatores que dificultam seu crescimento.

Posteriormente, para complementar o panorama da gestão de RSU, a última etapa do estudo de caso busca investigar o valor percebido pelo cliente e os atributos mais importantes de serviços que viabilizam a Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos alinhada com a Economia Circular. Assim, foram entrevistados clientes de um serviço de coleta de resíduos que visa o reaproveitamento de materiais, observando a ordem de prioridade estabelecida pela PNRS e viabilizando, assim, algumas premissas da Economia Circular. Nas entrevistas individuais utilizou-se o método *Analytical Hierarchy Process (AHP)* para comparação em pares de atributos oferecidos pelo serviço. Esses atributos foram definidos com base na escala SERV-PERVAL (PETRICK, 2002) e, através do método AHP, pôde-se avaliar a ordem de importância desses atributos.

1.8. Delimitações do estudo

Este estudo se limitou às premissas da Economia Circular focadas em fechar o ciclo dos materiais, por ser a abordagem mais alinhada com os desafios da Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos. Sendo assim, não foram abordados temas como servitização, mudança dos

modelos de negócio, fontes renováveis de energia e fechamentos do ciclo na forma energética.

O estudo analisou o ciclo reverso do vidro como forma de ilustrar as barreiras encontradas na circularidade dos materiais. Deve-se frisar que, o material escolhido para o estudo, o vidro, apresenta diversas particularidades, por exemplo: o preço da matéria-prima, sua densidade elevada, e a distribuição dos setores envolvidos na sua cadeia de produção. Todos esses fatores variam de acordo com o tipo de material e por isso afetam sua taxa de reciclagem. Este estudo foca apenas nas particularidades que influenciam o ciclo reverso do vidro, que não necessariamente podem ser aplicadas a outros materiais.

O serviço de coleta e destinação de resíduos sólidos selecionado como cenário para o estudo de caso é prestado por uma empresa privada, que atende somente estabelecimentos comerciais. Sendo assim, o estudo não aborda especificamente o serviço de coleta de resíduos domiciliares.

1.9. Estrutura

Esta dissertação está organizada em cinco capítulos: a introdução, três outros considerados como capítulos principais, e o último de conclusão, que encerra o documento consolidando os resultados encontrados.

Estruturada em documento único, a dissertação inicia com o capítulo que contextualiza os conceitos trabalhados ao longo da pesquisa e explica o desenvolvimento do trabalho como um todo. Os capítulos principais, compostos pelos três artigos, foram desenvolvidos com base na metodologia de Estudo de Caso (YIN, 2001), e são estruturados conforme apontado na Figura 1.

O **Artigo 1** investiga as barreiras em aplicações das premissas da Economia Circular dentro do seu ciclo técnico, através de uma Revisão Sistemática da Literatura. Dessa forma, esse artigo contempla a fase de Definição e Planejamento do Estudo de Caso. A partir de

então, com foco na Gestão de Resíduos Sólidos, foram selecionados dois casos para a etapa de Preparação, Coleta e Análise. O **Artigo 2** investiga a aderência das embalagens de vidro às premissas da Economia Circular e a realidade desse mercado no Brasil, e é definido como o primeiro estudo de caso. Em seguida, o **Artigo 3**, o segundo estudo de caso, analisa o valor percebido pelo cliente em iniciativas que viabilizam a Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos alinhada à Economia Circular. O capítulo de conclusão busca unir os resultados dos estudos e contempla a etapa de Análise e Conclusão do Estudo de Caso.

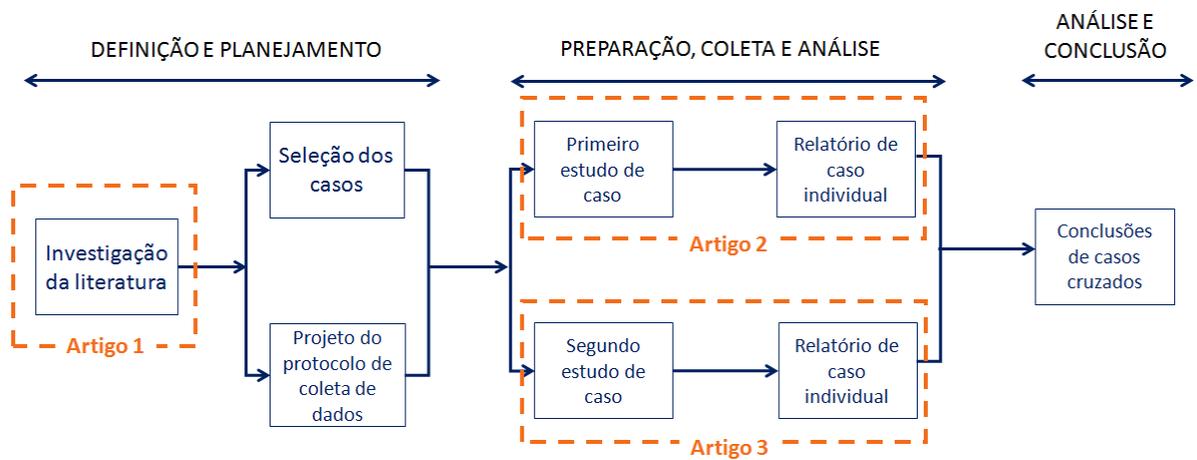


Figura 1 Método de Estudo de Caso (Adaptado de YIN, 2001)

2. ARTIGO 01 – Economia Circular e as barreiras identificadas através da Avaliação do Ciclo de Vida: uma Revisão Sistemática

Amália Koefender ^a; Fernando Gonçalves Amaral ^b

^a Departamento de Engenharia de Produção e Transportes, UFRGS – amalia.koe@gmail.com

^b Departamento de Engenharia de Produção e Transportes, UFRGS – amaral@producao.ufrgs.br

Resumo

A Economia Circular (EC) apresenta uma forma de dissociar o desenvolvimento econômico do consumo de recursos naturais, buscando o fechamento dos ciclos e substituindo o 'descarte' por diversas formas de reaproveitamento de materiais, além de propor inovações em modelos de negócios e no sistema de produção. A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é apontada como o método de avaliação ambiental mais compatível com os requisitos da Economia Circular, e por isso é amplamente utilizado para avaliar o processo de transição entre o sistema linear e o circular. Como forma de investigar as barreiras encontradas na aplicação das premissas da EC, foi realizada uma revisão sistemática da literatura sobre estudos desenvolvidos a partir da metodologia de ACV. A revisão sistemática foi realizada com base em 21 artigos selecionados, que abordam o ciclo técnico da Economia Circular. Os resultados apontam barreiras técnicas, ambientais, econômicas, comportamentais e mercadológicas. Percebe-se que gestão de resíduos sólidos é um tema central na transição para Economia Circular e que ainda existem lacunas na definição e indicadores de Economia Circular.

Palavras-chave: Economia Circular; Sistema Linear; ACV; Reciclagem.

Abstract

Circular Economy presents a way of decoupling economic growth and resource demand. It replaces 'disposal' with different ways of reusing materials, and proposes other ways of closing the loops, adapting business models and production systems. Life Cycle Assessment (LCA) is mentioned as the environmental assessment method that is the most compatible with Circular Economy's requirements. Hence, it is widely used to assess the transition process between the linear and the circular system. In order to understand the concept of Circular Economy and the barriers for its application, a systematic review of the literature was carried out. The review was conducted based on 21 selected articles that study Circular Economy based on the LCA methodology, and address the technical cycle of Circular Economy. The results indicate technical, environmental, economic, behavioral and market barriers that make the transition to the Circular Economy more challenging. It is noticed that solid waste management is a central theme in the transition to Circular Economy and that there are still gaps in the definition and indicators of Circular Economy.

Keywords: Circular Economy; Linear Systems; LCA; Recycling.

2.1. Introdução

A economia atual é considerada majoritariamente linear, pois tem como base a sequência de ‘extração, produção, consumo, disposição final’. Esse modelo de consumo, aliado ao desenvolvimento econômico e à projeção das Nações Unidas de crescimento populacional mundial de 25-35% até 2050 (UN, 2017; KRAUSMANN et al., 2009), pode acelerar o aumento do uso de recursos naturais, assim como seus impactos. Como esses recursos são finitos e, em muitos casos, não renováveis, é natural que o atual modelo de consumo e todos os impactos associados sejam questionados.

O conceito de Economia Circular (EC) surgiu como uma forma de dissociar o desenvolvimento econômico do consumo de recursos naturais (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013). Sendo assim, é um modelo econômico que busca substituir o ‘descarte’ por reutilização, reciclagem e recuperação de materiais nos processos de produção, distribuição e consumo (KIRCHHERR et al., 2017). O uso eficiente de materiais também reduz a dependência de recursos naturais (PAULIUK & MÜLLER, 2014), e é uma importante vantagem da Economia Circular. A definição de Economia Circular não é estática e abrange diversos princípios e propostas formuladas nas últimas décadas, além de ser estudada através de diferentes abordagens (MERLI et al., 2018).

Elia et al., (2016) aponta a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) como método de avaliação ambiental mais compatível com os requisitos da Economia Circular. ACV é um reconhecido instrumento, que quantifica e avalia a pegada ambiental de produtos e serviços e identifica oportunidades de melhorias do desempenho ambiental, por meio da comparação de cenários para otimização de sistemas de produtos (RIVERO et al., 2016; BJØRN & HAUSCHILD 2012; WALKER et al., 2018; NIERO et al., 2017). As normas ISO 14040:2016 (ISO, 2016a) e ISO 14044:2016 (ISO, 2016b) definem ACV como “compilação e avaliação das entradas, saídas e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida” (ISO, 2016a; ISO, 2016b). Dentro da temática da Economia Circular, ACV é capaz de avaliar a redução do uso de insumos e recursos naturais,

níveis de emissões e perda de materiais importantes. Entende-se que a metodologia também apresenta uma qualificação indireta do aumento da parcela de recursos renováveis. O único indicador da Economia Circular não contemplado pela metodologia é o aumento da durabilidade de valor dos produtos (ELIA et al., 2016). Através da ACV, é possível identificar os impactos ambientais de forma abrangente, viabilizando a comparação entre diferentes opções e, por isso, é considerado um importante suporte na tomada de decisões. A metodologia já foi adaptada para diferentes situações, aplicações e setores e considera todas as etapas do ciclo de vida, já que reconhece que grande parte dos impactos ambientais dos produtos acontecem nas etapas de produção, transporte e descarte, e não somente durante o consumo (GUINEE et al., 2011). Portanto, ACV é considerado um indicador essencial para a avaliação quantitativa de estratégias de Economia Circular para organizações, produtos e seus sistemas (PAULIUK, 2018).

O modelo da Economia Circular se divide em dois sistemas: a circulação de nutrientes biológicos, e o ciclo técnico (LIEDER & RASHID, 2016). O ciclo biológico contempla os materiais que devem retornar ao solo através de compostagem ou digestão anaeróbia ao fim da sua vida útil. O ciclo técnico representa o fluxo de materiais que devem ser projetados para circular com alta qualidade nos ciclos industriais (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013; LIEDER & RASHID, 2016). Por isso, devem prever algum tipo de reutilização, possibilitando desmontagens, reparos, reformas ou remanufaturas.

No ciclo técnico polímeros, ligas e outros materiais sintéticos devem ser projetados para serem usados novamente com gasto mínimo de energia e retenção da qualidade, podendo alcançar inclusive o *upcycling*, que consiste em melhorias da qualidade depois do ciclo primário. Nesse ciclo busca-se acrescentar as etapas de manutenção, reuso, redistribuição, reforma, remanufatura e reciclagem ao modelo linear de consumo de bens (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013). O desenvolvimento de embalagens nesse ciclo é incentivado a buscar soluções que sejam otimizadas para reciclagem e que mantenham seu valor e suas propriedades ao longo de múltiplos ciclos (NIERO et al., 2017), além de

possibilitar o prolongamento de cada ciclo. Devido a sua complexidade, analisaremos somente o ciclo técnico neste trabalho.

O processo de transição para uma economia mais circular exige que as alternativas de gestão de resíduos e design de produtos sejam examinadas sistematicamente para avaliar os impactos e benefícios ambientais associados (RIGAMONTI et al., 2017). Essa transição é desafiadora, pois tanto a mentalidade dos atores, quanto a infraestrutura dos sistemas atuais são prevalentemente lineares (LIEDER & RASHID, 2016). Os benefícios que a circularidade de recursos tem a oferecer servem de incentivo para que a sociedade e a indústria se envolvam nessa transição (COBO & IRABIEN, 2018).

Como forma de entender a Economia Circular e as barreiras encontradas para sua aplicação, foi realizada uma revisão sistemática da literatura sobre estudos de Economia Circular desenvolvidos a partir da metodologia de ACV. Buscando identificar as diferentes definições de Economia Circular, sua relação com ACV e suas limitações através da aplicação ou análises utilizando ACV. O foco da pesquisa é o ciclo técnico da Economia Circular, contemplando ACV de materiais e produtos nesta perspectiva.

2.2. Metodologia

O estudo foi desenvolvido com base em uma Revisão Sistemática da Literatura. Essa metodologia busca responder questões ou resumir a literatura sobre um dado assunto de maneira imparcial. Para que seja considerada sistemática, a revisão deve envolver estratégias científicas e ser descrita de forma que possa ser replicada (COOK *et al.*, 1997; TRANFIELD *et al.*, 2003). O presente trabalho foi desenvolvido e reportado com base no método PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis*) (LIBERATI *et al.*, 2009).

2.2.1. Perguntas de pesquisa, banco de dados e termos de busca

Primeiramente foram definidas as questões de pesquisa, utilizando a abordagem PICOS (LIBERATI *et al.*, 2009), para servir como orientação da revisão sistemática. Dessa forma, busca-se entender como a Avaliação do Ciclo de Vida e a Economia Circular se relacionam dentro do ciclo técnico e quais as barreiras encontradas através dessa relação:

1. Qual a definição de Economia Circular?
2. Como a Avaliação do Ciclo de Vida contribui com a Economia Circular?
3. Quais são as barreiras e limitações da aplicação dos princípios da Economia Circular?

Para que o estudo fosse realmente abrangente e para incluir a maior parte das publicações relevantes sobre o assunto, foram selecionadas três importantes bases de dados para a busca: *Science Direct*, *Scopus* e *Web of Science*. A busca foi realizada em inglês, pesquisando os títulos, palavras-chave e resumo de artigos de forma que, com o uso de operação *booleana*, identificasse os trabalhos de interesse com os seguintes termos: (*'LCA' OR 'Life Cycle Assessment' OR 'Life Cycle Analysis'*) AND *'Circular Economy'*.

2.2.2. Busca e seleção preliminar

A busca completa resultou em 429 artigos. Como a consulta foi realizada em três diferentes bases, foram detectados 179 artigos duplicados, que foram então desconsiderados. Não foi feita restrição de período temporal, já que o assunto é ainda muito recente e é interessante para o estudo que sejam incluídas todas as fases de desenvolvimento da literatura que relaciona ACV e Economia Circular. Por isso, entraram na revisão sistemática todos os artigos publicados até outubro de 2018.

O processo de triagem buscou identificar e selecionar apenas os artigos que potencialmente pudessem contribuir para a pesquisa e para isso foram definidos critérios de inclusão e exclusão. Dois revisores foram responsáveis pela revisão sistemática, para garantir o melhor uso dos critérios de seleção desde o início da pesquisa. Primeiramente, a triagem

foi realizada através da avaliação dos títulos dos trabalhos, retirando aqueles cujo foco fosse o ciclo biológico da Economia Circular e outros que abordavam processos, sistemas, modelos de negócios, e tudo que não pudesse ser considerado produto ou material. Em seguida foram analisados os resumos e, para que o artigo pudesse seguir o processo de análise, deveria obter resposta afirmativa para todas as seguintes perguntas:

1. Os objetivos do artigo estão claros?
2. Algum dos objetivos trata diretamente de ACV de materiais ou produtos no contexto do ciclo técnico da Economia Circular?
3. O artigo apresenta uma metodologia, aplicação, ou análise de ACV?
4. As conclusões do artigo estão claras?

A análise dos títulos resultou na seleção de 106 artigos e, após a verificação dos resumos, 44 seguiram para leitura completa. O software StArt v. 2.3.4.2 (LAPES, 2018) e planilhas de Excel foram utilizadas para organizar o grande volume de informações e facilitar a seleção dos artigos.

2.2.3. Avaliação do conteúdo

Os 44 artigos selecionados na etapa anterior foram submetidos a uma leitura mais aprofundada, focando nas questões a serem respondidas na revisão. Nesta análise foram selecionados todos os artigos que obtiveram resposta afirmativa para pelo menos uma das seguintes perguntas:

1. O artigo define Economia Circular?
2. O artigo aborda a relação entre ACV e Economia Circular?
3. O artigo avalia alguma metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida sobre a sua aderência à Economia Circular?
4. O artigo identifica barreiras ou limitações da Economia Circular a partir da ACV?

2.2.4. Extração de dados

Após as etapas de seleção, restaram 28 artigos. Entretanto, para que a pesquisa pudesse ser eficiente e trazer mais garantia sobre as informações processadas, optou-se por criar um filtro de qualidade para as publicações. A base de dados *Scopus* oferece métricas para avaliar o impacto de periódicos. Uma delas, o *CiteScore™*, é o número de citações recebidas por um periódico em um ano para documentos publicados nos três anos anteriores, dividido pelo número de documentos indexados no *Scopus* publicados nos mesmos três anos. Neste estudo foi utilizado o *CiteScore™ 2018* para filtrar a fonte das publicações utilizadas. Apenas artigos publicados em periódicos com *CiteScore 2018* maior de 3 foram utilizados para a extração de dados, de forma que apenas os artigos mais consolidados fizeram parte da pesquisa. Após a aplicação deste filtro, 21 artigos foram lidos na íntegra e as informações extraídas serviram de base para responder às questões de pesquisa previamente definidas.

2.3. Resultados e discussão

As etapas e resultados do processo de triagem dos artigos são apresentados na Figura 2.

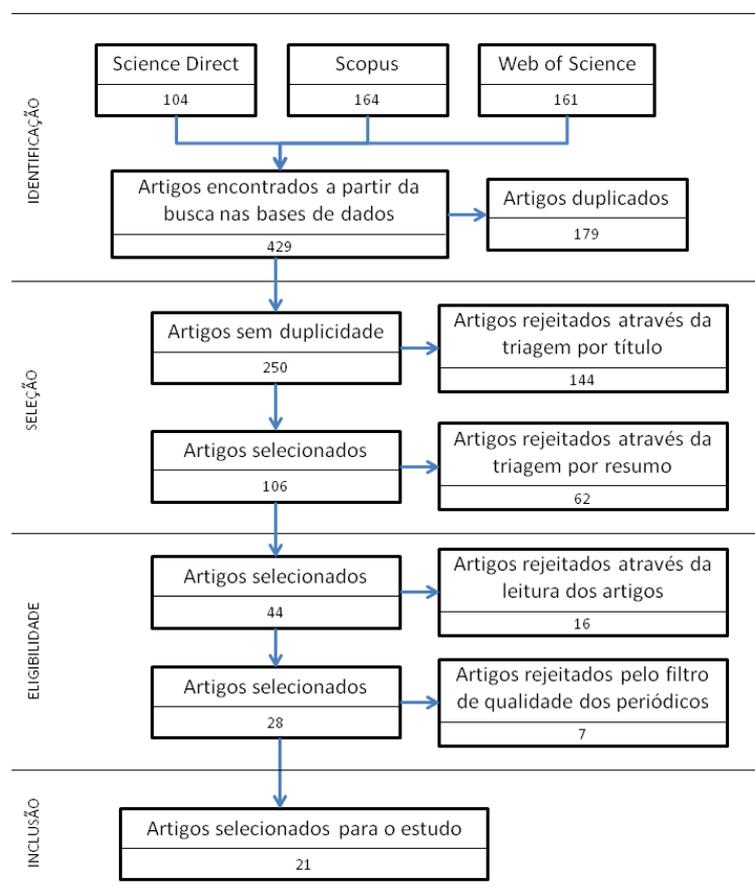


Figura 2 Etapas do processo de seleção dos artigos da revisão sistemática

Os artigos selecionados pela revisão sistemática estão apresentados na Tabela 1. Entre os selecionados, aparecem 8 diferentes periódicos: *Resources, conservation and recycling*, *International Journal of Life Cycle Assessment*, *Journal of Cleaner Production*, *Journal of Industrial Ecology*, *Marine Policy*, *Frontiers in Energy Research*, *Journal of Energy Storage e Sustainability*.

Tabela 1 Artigos selecionados pela revisão sistemática

	Autores	Ano	Origem	Periódico
1	Seigné-Itoiz E., Gasol C. M., Rieradevall J., Gabarrell X.	2014	Espanha	Resources, conservation and recycling
2	Broadbent, C.	2016	Bélgica	International Journal of Life Cycle Assessment

3	Villares M., Isildar A., Beltran A. M., Guinee J.	2016	Holanda	Journal of Cleaner Production
4	Niero M., Olsen S. I.	2016	Dinamarca	Resources, conservation and recycling
5	Rivero A. J., Sathre R., Navarro J. G.	2016	Espanha	Resources, Conservation and Recycling
6	Haupt M., Zschokke M.	2017	Suíça	International Journal of Life Cycle Assessment
7	Rigamonti L., Falbo A., Zampori L., Sala S.	2017	Itália	International Journal of Life Cycle Assessment
8	Ren C., Wang W., Mao Y., Yuan X., Song Z., Sun J., Zhao X.	2017	China	Journal of Cleaner Production
9	Adibi N., Lafhaj Z., Yehya M., Payet J.	2017	França	Journal of Cleaner Production
10	Iraldo F., Facheris C., Nucci B.	2017	Itália	Journal of Cleaner Production
11	Niero M., Hauschild M., Hoffmeyer S. B., Olsen S.I.	2017	Dinamarca	Journal of Industrial Ecology
12	Gilbert P., Wilson P., Walsh C., Hodgson P.	2017	Inglaterra	Marine Policy
13	Makov T., Vivanco D. F.	2018	Inglaterra	Frontiers in Energy Research
14	Lonca G., Muggéo R., Imbeault-Tétreault H., Bernard S., Margni M.	2018	Canada	Journal of Cleaner Production
15	Merli R., Preziosi M., Acampora A.	2018	Itália	Journal of Cleaner Production
16	Deschamps J., Simon B., Tagnit-Hamou A., Amor B.	2018	Canadá	Journal of Cleaner Production
17	Bobba S., Mathieux F., Ardente F., Blengini G. A., Cusenza M. A., Podias A., Pfrang A.	2018	Itália	Journal of Energy Storage
18	Krystofik M., Luccitti A., Parnell K., Thurston M.	2018	EUA	Resources, conservation and recycling
19	Lishan X., Weiling L., Qinghai G., Lijie G., Guoqin Z., Xiji C.	2018	China	Resources, conservation and recycling
20	Pauliuk, S.	2018	Alemanha	Resources, conservation and recycling
21	Walker S., Coleman N., Hodgson P., Collins N., Brimacombe L.	2018	Inglaterra	Sustainability

Entre os artigos selecionados para revisão pode-se perceber que o número de artigos publicados tem aumentado anualmente, conforme Figura 3. Isso indica que o assunto ainda é um tópico emergente de pesquisa, e que vem despertando interesse da comunidade

acadêmica. O artigo mais antigo foi publicado em 2014 e o maior número de publicações foi em 2018, o que pode indicar interesse recente, mas crescente no assunto.

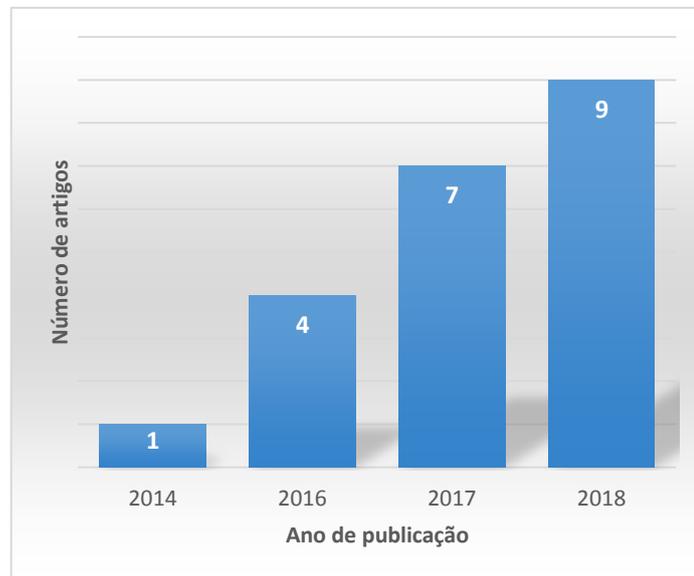


Figura 3 Número de artigos selecionados publicados anualmente

O gráfico da Figura 4 mostra o país de origem dos autores principais dos artigos selecionados. Nesta distribuição, considerando somente os artigos selecionados, pode-se perceber a predominância de artigos publicados por autores europeus, que representam mais de dois terços dos artigos utilizados no estudo (16 dos 21 artigos foram desenvolvidos por acadêmicos europeus). Isso possivelmente é reflexo do interesse das entidades locais em atividades que os aproxime sempre mais de uma Economia Circular. Por exemplo, em 2015 a Comissão Europeia divulgou um plano de ação com o título '*Closing the Loop – An EU action plan for the Circular Economy*' (EUROPEAN COMMISSION, 2015).



Figura 4 Distribuição dos artigos selecionados por país de origem

Para responder as perguntas formuladas durante o planejamento do estudo, utilizou-se as informações contidas nos artigos selecionados para buscar uma convergência de definições e práticas.

2.3.1. Definição de Economia Circular

Por ser um conceito recente, ainda não existe uma definição amplamente aceita de Economia Circular (YUAN *et al.*, 2006) e, apesar de que tal afirmação possa ser considerada um limitante para a evolução do tema e cooperação internacional, pode-se argumentar que uma definição restrita não é adequada para um conceito ambicioso, que visa mudar o padrão atual de produção, consumo e design (MASI *et al.*, 2017).

As publicações e posicionamentos da Fundação Ellen MacArthur, uma fundação britânica que visa acelerar a transição para a Economia Circular, serviram de base para a definição do conceito em 10 dos artigos selecionados. Foram citadas algumas de suas

publicações, definindo Economia Circular como um modelo, sistema e *framework* de consumo e produção com perdas mínimas, sempre apoiando o reuso, reciclagem e recuperação de materiais e energia. Os conceitos da Fundação também definem a Economia Circular como regenerativa e restauradora por intenção e design e apontam como seu objetivo a dissociação do crescimento econômico do consumo de recursos finitos por natureza, potencializando o uso de resíduos como matéria-prima. A ideia é possibilitar que produtos, componentes e materiais possam manter seu desempenho ótimo por mais tempo, resultando em aumento do fluxo de bens e serviços (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013; ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2014; ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015).

Entre os artigos selecionados, 13 deles utilizaram outros autores para compor a definição de Economia Circular. Como não existe uma definição oficial do conceito (HAUPT & ZSCHOKKE, 2017; YUAN *et al.*, 2006), esse ainda é considerado um tema amplo e em constante evolução (MERLI *et al.*, 2018). O conceito de Economia Circular parte de fundamentos teóricos muito diversos (GHISELLINI *et al.*, 2016), e cumpre o papel de ‘conceito guarda-chuva’ (BLOMSMA & BRENNAN, 2017), conectando de forma bem-sucedida essas ideias e pensamentos a uma estrutura abrangente (CIRAIG, 2015). A Economia Circular vai contra o predominante padrão linear de produção de consumo (PAULIUK, 2018), mas uma de suas premissas é de que os ciclos de diferentes materiais possam impulsionar a atividade econômica, enquanto busca reduzir e prevenir a extração de recursos naturais e a geração de resíduos (LONCA *et al.*, 2018). Por isso, foca em modelos de negócios alternativos, envolvendo novas perspectivas econômicas e políticas, bem como designs inovadores (LONCA *et al.*, 2018). Espera-se que desacelerando, fechando e estreitando os laços de ciclos de material, possa-se aproximar de uma Economia Circular (BOCKEN *et al.*, 2016). Pautando que, ao mesmo tempo, a Economia Circular é descrita como um cenário ótimo, um modelo de sistema ideal (HAUPT & ZSCHOKKE, 2017; BROADBENT, 2016), um modelo econômico baseado em otimização de recursos, promovendo o uso de resíduos como recurso (RIGAMONTI *et al.*, 2017). As premissas da Economia Circular podem ser adaptadas e aplicadas tanto a uma única empresa (nível micro), quanto em cadeias de

valor, regiões, países, até à economia global (nível macro) (HAUPT & ZSCHOKKE, 2017; CIRAIG, 2015).

Apesar das restrições causadas tanto pelos termos de busca, quanto pelos filtros aplicados, pode-se encontrar uma definição simplificada de Economia Circular com base nos artigos selecionados, principalmente com citações da Fundação Ellen MacArthur. Uma das definições mais citadas, incorpora elementos de várias disciplinas que compõem a Economia Circular (RIZOS *et al.*, 2017): Um sistema industrial que é restaurador ou regenerativo por intenção e design. Substitui o conceito de 'fim de vida' por restauração, muda para o uso de energia renovável, elimina o uso de produtos químicos tóxicos, que prejudicam a reutilização, e visa a eliminação de resíduos através do design de materiais, produtos e sistemas, abrangendo também modelos de negócios (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013).

2.3.2. Relação entre Economia Circular e Avaliação do Ciclo de Vida

Tanto ACV quanto Economia Circular têm o potencial de reduzir os impactos ambientais. ACV é uma ferramenta abrangente e adequada para avaliar a performance e os impactos ambientais de projetos de produtos circulares, seus processos e tratamentos, e também mudanças de larga escala como o movimento em direção à Economia Circular (HAUPT & ZSCHOKKE, 2017).

A transformação de resíduos em recursos também é parte essencial do processo para alcançar a eficiência e o 'fechamento do ciclo', por isso a reciclagem é uma das peças chave das práticas de Economia Circular (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013), e a metodologia de ACV é capaz de analisar os impactos e benefícios associados à reciclagem e a estratégias de eficiência de recursos (RIGAMONTI *et al.*, 2017; HAUPT & ZSCHOKKE, 2017; RIVERO *et al.*, 2016; WALKER *et al.*, 2018), avaliando possíveis transferências de impacto de uma etapa para outra (BJØRN & HAUSCHILD 2012; ZINK & GEYER, 2017). Garantindo assim que a recuperação de materiais não cause impactos ambientais que anulem os seus benefícios (RIGAMONTI *et al.*, 2017).

A ACV é considerada essencial para avaliar o cenário completo de sistemas de Economia Circular no contexto do desenvolvimento sustentável (DESCHAMPS *et al.*, 2018) e é utilizada para estabelecer métricas e metodologias para avaliar o progresso em direção à circularidade (DADDI *et al.*, 2017; HAUPT & ZSCHOKKE, 2017), por isso deve sempre ser utilizada para apoiar indicadores de circularidade dos materiais (WALKER *et al.*, 2018). Existe um consenso de que ACV e outras ferramentas devem ser utilizadas para avaliar as opções de iniciativas de EC, de forma a garantir um equilíbrio positivo de impactos e benefícios (HAUPT & ZSCHOKKE, 2017). ACV é uma ferramenta muito utilizada para avaliar a performance da circularidade de produtos ou sistemas (DESCHAMPS *et al.*, 2018), como indica Elia *et al.* (2016) em um estudo que utilizou requisitos inspirados em um relatório sobre Economia Circular (EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY, 2016) para analisar as metodologias de avaliação ambiental mais difundidas com base em indicadores quantitativos. ACV é apontada como a metodologia mais completa para avaliação da Economia Circular, entre as outras 16 analisadas, tais como Análise de Fluxo de Material, Pegada Ecológica, Pegada de Carbono e outras.

Apesar da convergência entre ACV e EC, algumas situações levam a conclusões contraditórias quando aplicados os seus princípios (HAUPT & ZSCHOKKE, 2017). Pode-se citar diversos exemplos em nível micro (HAUPT & ZSCHOKKE, 2017), como embalagens, onde o material mais leve se mostra ambientalmente preferível, mas não é necessariamente circular (HUMBERT *et al.*, 2009). Nesse caso, a opção mais leve consome menos recursos para sua produção, mas não é necessariamente adaptada para circularidade. Ou seja, existem situações onde a opção supostamente mais sustentável, não é a mais circular. Nesses casos, a circularidade não deveria ser aplicada. Deve-se avaliar também mudanças sistêmicas, como a reestruturação do setor de energia para futuras avaliações do sistema (HAUPT & ZSCHOKKE, 2017).

2.3.3. Barreiras à implementação da Economia Circular

Os artigos analisados apontam barreiras técnicas, ambientais, econômicas, comportamentais e mercadológicas, conforme resumo do Quadro 1. Também foram apontadas lacunas de definições, indicadores e outros estudos para a implementação bem-sucedida de uma Economia Circular.

Lonca *et al.* (2018) aponta a desconexão entre os cenários micro e macro que se visa abranger, visto que o entendimento de modelagem estratégica da Economia Circular não apresenta uma visão sistêmica que vincule as iniciativas em microescala às suas consequências na escala macro (LONCA *et al.*, 2018). Para alcançar mudanças mais sistêmicas, é necessário identificar e planejar formas inovadoras de consumo e produção, para que haja uma mudança geral na sociedade, instituições, consumidores e em suas relações (SAAVEDRA *et al.*, 2017). Isso exige que diversos setores, em diferentes níveis, estejam envolvidos (PAULIUK, 2018; GILBERT *et al.*, 2017), para que sejam implementadas ações em todos os estágios da cadeia de valor (MANNINEN *et al.*, 2018). Uma das grandes barreiras encontradas na implementação de uma Economia Circular é devida à diversidade de setores envolvidos (LONCA *et al.*, 2018) e a comunicação limitada entre eles (GILBERT *et al.*, 2017). O fluxo de informações e o conhecimento de oportunidades são grandes desafios, além de informações inadequadas e incompletas sobre recursos, contaminação, disponibilidade e classificação (HAUPT & ZSCHOKKE, 2017). Winans *et al.* (2017) também reforça que a dificuldade de troca de informações pode restringir o sucesso das iniciativas de Economia Circular.

O mercado atual ainda favorece modelos lineares de produção e consumo (KRYSTOFIK *et al.*, 2018), e os princípios da Economia Circular indicam que os produtores e a sociedade em geral adotem um modelo de negócios mais baseado em serviços e que fomentem o reuso, a redistribuição, a remanufatura e reforma de produtos e materiais (GILBERT *et al.*, 2017). Porém, os remanufaturadores terceirizados têm pouca ou nenhuma participação na tomada de decisões sobre o design e materiais utilizados no produto, e isso

pode influenciar a viabilidade de seu trabalho (KRYSTOFIK *et al.*, 2018). Sendo assim, fica sob responsabilidade do produtor primário que seu produto seja planejado para ser modular, desmontado, ou facilmente remanufaturado, o que nem sempre é de seu interesse (GILBERT *et al.*, 2017; KRYSTOFIK *et al.*, 2018).

A reciclagem também é um elo importante para preservação de recursos e sustentabilidade, mas o mercado de recicláveis ainda apresenta muita incerteza devido ao comportamento dos consumidores, ciclos econômicos, tecnologia, política (TSILYANNIS, 2015; HAUPT & ZSCHOKKE, 2017). A dificuldade de encontrar mercado para alguns materiais, a baixa qualidade dos produtos e sua variabilidade também podem dificultar a implementação de iniciativas de Economia Circular (DESCHAMPS *et al.*, 2018; KRYSTOFIK *et al.*, 2018). Mas esses pontos variam muito conforme o material.

A qualidade da fração de material coletado pós-consumo e, conseqüentemente, do produto resultante, são citados como fatores que dificultam a implementação de uma economia mais circular. A qualidade dos materiais pode influenciar a disponibilidade de matéria-prima em ciclos abertos e fechados, além dos processos de reciclagem que podem viabilizar a recuperação do material (HAUPT & ZSCHOKKE, 2017). No caso de alguns materiais e produtos indica-se que, tanto por segurança, quanto por questões técnicas, deve-se avaliar a qualidade antes de proceder com a reciclagem ou remanufatura (GILBERT *et al.*, 2017; ZHOU *et al.*, 2012) e isso leva a novas etapas de processo e aumento de custos. No caso dos metais, como alumínio por exemplo, a qualidade da fração coletada pode levar à necessidade de adição de matéria-prima virgem, também para diluição (NIERO & OLSEN, 2016). O volume de material em uso também pode ser um fator limitador da circularidade, como é o caso do aço, alumínio e outros metais, pois o volume de material disponível para reciclagem em alguns casos não supre a demanda. Para estes materiais, mesmo o aumento da eficiência de coleta de sucata não tornaria a produção primária dispensável (BROADBENT, 2016; ROMBACH, 2013). Mas isso também significa que as cidades podem ser consideradas reservas de materiais que podem ser explorados no futuro (ROMBACH, 2013; CIACCI *et al.*, 2013).

A qualidade dos materiais também é afetada por contaminantes, que podem limitar o seu aproveitamento, já que a reciclagem de alta qualidade só pode ocorrer quando os materiais não estão contaminados (NIERO *et al.*, 2017) e os contaminantes podem se acumular ao longo dos ciclos de reciclagem (LØVIK & MÜLLER, 2014). Podem ser substâncias intencionalmente adicionadas, ou contaminantes diversos adquiridos na fase de uso do material (PIVNENKO *et al.*, 2016). Para que o material possa ser reaproveitado, os contaminantes devem ser removidos (HAUPT & ZSCHOKKE, 2017), visto que o aumento da taxa de reciclagem pode aumentar também a fração de impurezas, como é o caso das latas de alumínio (LØVIK & MUELLER, 2014). O acúmulo de impurezas por meio da reciclagem contínua poderia ameaçar os objetivos da Economia Circular (NIERO & OLSEN, 2016). As metodologias para avaliar a contaminação de produtos após a reciclagem ainda devem ser melhor desenvolvidas (HAUPT & ZSCHOKKE, 2017), mas uma forma de evitar a contaminação dos materiais e aumentar seu aproveitamento, é repensar o design dos produtos, de forma a evitar a mistura de materiais (NIERO *et al.*, 2017), além de desenvolver sistemas de coleta apropriados com segregação na origem e formas de reinserção dos materiais nos ciclos produtivos. A falta de rotulagem dificulta a identificação dos materiais pós-consumo, enquanto formulações complexas, múltiplos materiais e a dificuldade de separá-los pode impedir a sua recuperação (CIRAIG, 2015). O desenvolvimento de produtos projetados para retornar ao ciclo produtivo deve então atender a essas necessidades.

Os impactos associados aos processos de reciclagem também podem limitar o desenvolvimento de iniciativas rumo à circularidade (RIGAMONTI *et al.*, 2017). No estudo de Sevigné-Itoiz *et al.* (2014), o aumento da fração de material reciclado resulta em maior economia de energia e redução de emissões de gases do efeito estufa, considerando o caso do alumínio, mas aponta que os benefícios da reciclagem em um mercado global podem não ocorrer nos mesmos países onde existe a produção primária. Adibi *et al.* (2017) reforça que, como os processos de reciclagem também apresentam perdas e degradação da qualidade e dependem de transporte, em alguns casos o fechamento do ciclo pode apresentar consumo maior de energia total. A Avaliação do Ciclo de Vida aponta que algumas iniciativas que

buscam fechar o ciclo podem não ser a melhor opção do ponto de vista ambiental (HAUPT & ZSCHOKKE, 2017). Dependendo das alterações necessárias para permitir a desmontagem ou reutilização dos produtos, mais material pode ser demandado (GILBERT *et al.*, 2017). No caso de algumas embalagens, podem ser verificadas contradições entre ACV e Economia Circular e indica-se que nesses casos a circularidade não seja implementada (HAUPT & ZSCHOKKE, 2017).

Em uma Economia Circular busca-se estender a durabilidade dos produtos e materiais, mas alguns estudos também apontam desafios dessa abordagem. Os impactos causados principalmente pelo consumo de energia durante a fase de uso tendem a aumentar dessa forma. Em alguns casos, a substituição de equipamentos elétricos por versões com maior eficiência energética pode se mostrar mais vantajoso do ponto de vista ambiental (IRALDO *et al.*, 2017). É importante avaliar também as mudanças sistêmicas que podem alterar estes resultados como, por exemplo, a reestruturação do setor de energia (HAUPT & ZSCHOKKE, 2017).

Os impactos relacionados ao transporte dos materiais também são importantes, pois podem ser fatores limitantes para a Economia Circular (SEVIGNÉ-ITOIZ *et al.*, 2014; GILBERT *et al.*, 2017). O tamanho, a complexidade e a dispersão global das redes de abastecimento podem dificultar a implementação de algumas estratégias da Economia Circular (CIRAIG, 2015). A distância de transporte dos materiais é uma questão muito importante (DESCHAMPS *et al.*, 2018) e deve-se buscar reduzir as distâncias para tornar o modelo mais eficiente, principalmente quando o peso a ser transportado for muito elevado (LISHAN *et al.*, 2018). A coleta dos produtos pós-consumo também é um desafio logístico, além de encontrar oportunidades economicamente viáveis para seu reuso (KRYSTOFIK *et al.*, 2018).

Existe também preocupação quanto aos chamados 'efeitos rebote' da Economia Circular. Enquanto Broadbent (2016) reforça que o custo do reuso, reparo e remanufatura dos produtos deve ser competitivo para que os princípios da Economia Circular sejam

aplicados em larga escala, outros autores citam que os efeitos denominados de rebote podem ocorrer devido a essa eventual economia, ou substituições imperfeitas dos produtos de matéria-prima virgem (MAKOV & VIVANCO, 2018; ZINK & GEYER, 2017). Em casos onde o efeito é expressivo, quando a substituição entre produtos reciclados e novos não é satisfatória e a economia é grande, estratégias de Economia Circular podem não ser efetivas (MAKOV & VIVANCO, 2018).

Existem também preocupações de ordem econômica. Gilbert *et al.* (2017) questiona como será financiada esta mudança de modelo econômico. Enquanto Haupt & Zschokke (2017) apontam a falta de incentivo para que esta mudança ocorra, já que em diversos casos, o investimento em estratégias circulares não retorna ao produtor. E, de acordo com Krystofik *et al.* (2018) esta adaptação à Economia Circular demanda investimento significativo de tempo e recursos, que pode afetar a produção.

Quadro 1 Resumo das barreiras encontradas e sua natureza

Barreira encontrada		Mercadológica	Comportamental	Econômica	Técnica	Ambiental
Reciclagem	Interação entre setores	X	X			
	Incerteza	X	X	X		
	Tecnologia				X	
	Qualidade dos materiais		X	X	X	
	Variabilidade	X	X		X	
	Impactos ambientais				X	X
	Eficiência energética				X	
	Transporte			X		X
	Efeitos rebote		X			
	Financiamento			X		

As barreiras apontadas para a evolução da Economia Circular ainda apresentam muitas dúvidas e por isso o estudo desse tema é de grande importância. A comunidade acadêmica ainda não alcançou definições amplamente aceitas do conceito (RIZOS *et al.*, 2017), metas claras e ferramentas adequadas de avaliação (SU *et al.*, 2013). O desenvolvimento de indicadores de circularidade adequados (LONCA *et al.*, 2018) é muito importante e os estudos sobre o assunto ainda estão em um estágio inicial (ELIA *et al.*, 2016). Para atender a demanda, as avaliações devem contemplar adequadamente as implicações ambientais, sociais e econômicas (DESCHAMPS *et al.*, 2018). Além disso, o movimento em direção à Economia Circular requer que as diferentes alternativas para gestão de resíduos sejam estudadas a fundo para entender os impactos e benefícios associados (RIGAMONTI *et al.*, 2017). Todos esses esforços devem ser avaliados e comparados com os benefícios de uma Economia Circular (ADIBI *et al.*, 2017).

2.4. Conclusão

Através de uma revisão sistemática da literatura, foram selecionados artigos que buscam responder questões sobre as definições de Economia Circular, sua relação com ACV e suas limitações através da aplicação ou análises utilizando ACV.

Analisando o conteúdo dos artigos selecionados para a revisão, pode-se perceber que a aplicação de ACV no contexto da Economia Circular é um tema recente, que tem recebido cada vez mais atenção da comunidade acadêmica. Os artigos selecionados também evidenciam a importância da gestão de resíduos e reciclagem dentro do contexto da Economia Circular, e a Fundação Ellen MacArthur tem participação importante na difusão e aplicação do tema, que tem influência de diversos fundamentos teóricos.

A estrutura dos modelos produtivos atuais é prevalentemente linear, por isso a transição para a Economia Circular é desafiadora. Além disso, trata de uma mudança ampla, que envolve modelos de produção e consumo, modelos de negócios, e também mudanças comportamentais e econômicas. No estudo foram encontradas barreiras técnicas, ambientais, econômicas, comportamentais e mercadológicas, além das lacunas de

definições, indicadores e outros estudos para a implementação bem-sucedida de uma Economia Circular. A mudança necessária para que possamos mudar de um modelo linear para circular não é simples, e por isso ainda existem muitas dúvidas e espaço para pesquisas aprofundadas no tema. Apesar disso, a Economia Circular parece responder às necessidades atuais, trazendo novos modos de produção, design, consumo e descarte.

A fase de planejamento dos produtos é um ponto crucial para a circularidade, de forma que o reaproveitamento dos materiais ou do próprio produto já será pensado durante a concepção. Mesmo assim, os princípios da Economia Circular não vão progredir somente a partir da indústria, mas requerem um novo conjunto de modelos de negócios em toda a cadeia de suprimentos. Por isso, é importante que exista o comprometimento de todos os setores.

O comprometimento dos consumidores também é muito importante. O potencial de pressionar tanto o setor público quanto o privado pode fazer com que a transição para uma Economia Circular seja possível. Além disso, também são os responsáveis pela correta destinação dos seus produtos pós-consumo. Sendo assim, podem exigir produtos planejados para o reaproveitamento e devem encaminhá-los da forma correta após o seu uso.

2.5. Referências

ADIBI, N. *et al.* Global Resource Indicator for life cycle impact assessment: Applied in wind turbine case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 165, p. 1517–1528, 2017. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652617316827>. Acesso em: 2 nov. 2018.

BJØRN, Anders; HAUSCHILD, Michael Z. Absolute versus Relative Environmental Sustainability - What can the Cradle-to-Cradle and Eco-efficiency Concepts Learn from Each Other? **Journal of Industrial Ecology**, v. 17, n. 2, p. 321–332, 2012. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1530-9290.2012.00520.x>. Acesso em: 22 ago. 2019.

BLOMSMA, Fenna; BRENNAN, Geraldine. The Emergence of Circular Economy: A New Framing Around Prolonging Resource Productivity. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. 3, p. 603–614, 2017.

BOBBA, Silvia *et al.* Life Cycle Assessment of repurposed electric vehicle batteries: an adapted method based on modelling energy flows. **Journal of Energy Storage**, v. 19, p. 213–225, 2018. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352152X18300677>. Acesso em: 2 nov. 2018.

BOCKEN, Nancy M. P. *et al.* Product design and business model strategies for a circular economy. **Journal of Industrial and Production Engineering**, v. 33, n. 5, p. 308–320, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/21681015.2016.1172124>

BROADBENT, Clare. Steel's recyclability: demonstrating the benefits of recycling steel to achieve a circular economy. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 21, p. 1658–1665, 2016. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs11367-016-1081-1.pdf>. Acesso em: 2 nov. 2018.

CIACCI, Luca *et al.* Historical evolution of anthropogenic aluminum stocks and flows in Italy. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 72, p. 1–8, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344912002182>. Acesso em: 4 set. 2019.

CIRAIG - International Reference Centre for the Life Cycle of Products, Processes and Services. **Circular Economy: A Critical Literature Review of Concepts**. Montreal: 2015. Disponível em: http://www.ciraig.org/pdf/CIRAIG_Circular_Economy_Literature_Review_Oct2015.pdf.

CiteScore™ 2018. Calculated by Scopus on August 2019. Available from <https://www.scopus.com/sources.uri?zone=TopNavBar&origin=searchbasic>

COBO, Selene; DOMINGUEZ-RAMOS, Antonio; IRABIEN, Angel. From linear to circular integrated waste management systems: A review of methodological approaches. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 135, p. 279–295, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344917302422>. Acesso em: 1 nov. 2018.

COOK, Deborah J.; MULROW, Cynthia D.; HAYNES, R.Brian. Synthesis of best evidence for clinical decisions. **Annals of Internal Medicine**, v. 126, p. 376–380, 1997.

DADDI, Tiberio; NUCCI, Benedetta; IRALDO, Fabio. Using Life Cycle Assessment (LCA) to measure the environmental benefits of industrial symbiosis in an industrial cluster of SMEs. **Journal of Cleaner Production**, v. 147, p. 157–164, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965261730104X?via%3Dihub>. Acesso em: 18 jul. 2018.

DESCHAMPS, Joris *et al.* Is open-loop recycling the lowest preference in a circular economy? Answering through LCA of glass powder in concrete. **Journal of Cleaner Production**, v. 185, p. 14–22, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618306723?via%3Dihub>. Acesso em: 11 set. 2019.

ELIA, Valerio; GNONI, Maria Grazia; TORNESE, Fabiana. Measuring circular economy strategies through index methods: A critical analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 2741–2751, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616318273>. Acesso em: 16 jul. 2018.

Ellen MacArthur Foundation. ***Towards the Circular Economy – Accelerating the scale-up across global supply chains***. Vol. 3. Reino Unido: 2014.

Ellen MacArthur Foundation. ***Towards the Circular Economy – Business rationale for an accelerated transition***. Reino Unido: 2015

Ellen MacArthur Foundation. ***Towards the Circular Economy – Economic and business rationale for an accelerated transition***. Vol. 1. Reino Unido: 2013. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an-accelerated-transition>. Acesso em: 2 nov. 2018.

European Commission. Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy. Bruxelas, 2015.. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52015DC0614>. Acesso em agosto 2019.

European Environmental Agency. Circular Economy in Europe - Developing the Knowledge Base (No. 2). Luxemburgo, 2016.

FISCHER-KOWALSKI, Marina. Society's Metabolism. **Journal of Industrial Ecology**, v. 2, n. 1, p. 61–78, 1998.

GHISELLINI, Patrizia; CIALANI, Catia; ULGIATI, Sergio. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 114, p. 11–32, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615012287?via%3Dihub>. Acesso em: 25 jun. 2019.

GILBERT, P. *et al.* The role of material efficiency to reduce CO2 emissions during ship manufacture: A life cycle approach. **Marine Policy**, v. 75, p. 227–237, 2017. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308597X1630077X>. Acesso em: 2 nov. 2018.

GUINÉE, J. B. *et al.* Life Cycle Assessment: Past, Present, and Future. **ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY**, v. 45, n. 1, p. 90–96, 2011. Disponível em: <https://pubs.acs.org/sharingguidelines>. Acesso em: 17 set. 2018.

GUINÉE, Jeroen B. *et al.* Life Cycle Assessment: Past, Present, and Future. **ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY**, v. 45, n. 1, p. 90–96, 2011. Disponível em: <https://pubs.acs.org/sharingguidelines>. Acesso em: 17 set. 2018.

HAUPT, Melanie; ZSCHOKKE, Mischa. How can LCA support the circular economy?—63rd discussion forum on life cycle assessment, Zurich, Switzerland, November 30, 2016. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 22, p. 832–837, 2017. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s11367-017-1267-1>. Acesso em: 14 jul. 2018.

HUMBERT, Sebastien *et al.* Life cycle assessment of two baby food packaging alternatives: Glass jars vs. plastic pots. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 14, n. 2, p. 95–106, 2009.

IRALDO, Fabio; FACHERIS, Camilla; NUCCI, Benedetta. Is product durability better for environment and for economic efficiency? A comparative assessment applying LCA and LCC to two energy-intensive products. **Journal of Cleaner Production**, v. 140, p. 1353–1364, 2017. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652616316158>. Acesso em: 2 nov. 2018.

International Organization for Standardization (ISO). ISO 14040, 2016a. Environmental management - Life cycle assessment - Principles and framework. Available at: <https://www.iso.org/standard/37456.html>.

International Organization for Standardization (ISO). ISO 14044, 2016b. Environmental Management - Life Cycle Assessment - Requirements and Guidelines. Available at: <https://www.iso.org/standard/38498.html>

KAPITAN, Sommer; KENNEDY, Ann-Marie; BERTH, Nicole. Sustainably superior versus greenwasher: A scale measure of B2B sustainability positioning. **Industrial Marketing Management**, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0019850117309434>. Acesso em: 19 set. 2018.

KIRCHHERR, Julian; REIKE, Denise; HEKKERT, Marko. Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 127, p. 221–232, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344917302835>. Acesso em: 10 out. 2018.

KRAUSMANN, Fridolin *et al.* Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century. **Ecological Economics**, v. 68, n. 10, p. 2696–2705, 2009.

KRYSTOFIK, Mark *et al.* Adaptive remanufacturing for multiple lifecycles: A case study in office furniture. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 135, p. 14–23, 2018. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921344917302070>. Acesso em: 2 nov. 2018.

LAPES. Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Software. StArt - State of the Art through systematic Review. Access http://lapes.dc.ufscar.br/tools/start_tool

LIBERATI, Alessandro *et al.* The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. **Journal of clinical epidemiology**, v. 62, n. 10, p. e1–e34, 2009.

LIEDER, M.; RASHID, A. Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 115, p. 36–51, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615018661>. Acesso em: 10 jul. 2018.

LISHAN, Xiao *et al.* Comparative life cycle assessment of manufactured and remanufactured loading machines in China. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 131, p. 225–234, 2018.

LONCA, Geoffrey *et al.* Does material circularity rhyme with environmental efficiency? Case studies on used tires. **Journal of Cleaner Production**, v. 183, p. 424–435, 2018. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652618304189>. Acesso em: 2 nov. 2018.

LØVIK, Amund N.; MÜLLER, Daniel B. A Material Flow Model for Impurity Accumulation in Beverage Can Recycling Systems. **Light Metals 2014**, v. 9781118889, p. 907–911, 2014.

MAKOV, Tamar; VIVANCO, David Font. Does the Circular Economy Grow the Pie? The Case of Rebound Effects From Smartphone Reuse. **Frontiers in Energy Research**, v. 6, p. 39, 2018. Disponível em: <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fenrg.2018.00039/full>. Acesso em: 2 nov. 2018.

MANNINEN, Kaisa *et al.* Do circular economy business models capture intended environmental value propositions? **Journal of Cleaner Production**, v. 171, p. 413–422, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617322965?via%3Dihub>. Acesso em: 18 jul. 2019.

MASI, Donato; DAY, Steven; GODSELL, Janet. **Supply Chain Configurations in the Circular Economy: A Systematic Literature Review**. [S. l.: s. n.]

MERLI, Roberto; PREZIOSI, Michele; ACAMPORA, Alessia. How do scholars approach the circular economy? A systematic literature review. **Journal of Cleaner Production**, v. 178, p. 703–722, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617330718>. Acesso em: 16 jul. 2018.

MOHER, David *et al.* Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. **Annals of Internal Medicine**, v. 151, n. 4, p. 264, 2009. Disponível em: <http://annals.org/article.aspx?doi=10.7326/0003-4819-151-4-200908180-00135>. Acesso em: 16 jul. 2018.

NIERO, M. *et al.* Combining Eco-Efficiency and Eco-Effectiveness for Continuous Loop Beverage Packaging Systems: Lessons from the Carlsberg Circular Community. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. 3, p. 742–753, 2017.

NIERO, Monia; OLSEN, Stig Irving. Circular economy: To be or not to be in a closed product loop? A Life Cycle Assessment of aluminium cans with inclusion of alloying elements. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 114, p. 18–31, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.06.023>. Acesso em: 2 nov. 2018.

PAULIUK, Stefan. Critical appraisal of the circular economy standard BS 8001:2017 and a dashboard of quantitative system indicators for its implementation in organizations. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 129, p. 81–92, 2018. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921344917303531>. Acesso em: 2 nov. 2018.

PAULIUK, Stefan; MÜLLER, Daniel B. The role of in-use stocks in the social metabolism and in climate change mitigation. **Global Environmental Change**, v. 24, p. 132–142, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.11.006>. Acesso em: 17 set. 2018.

PIVNENKO, Kostyantyn; LANER, David; ASTRUP, Thomas F. Material cycles and chemicals: Dynamic material flow analysis of contaminants in paper recycling. **Environmental Science and Technology**, v. 50, n. 22, p. 12302–12311, 2016.

REN, Changzai *et al.* Comparative life cycle assessment of sulfoaluminate clinker production derived from industrial solid wastes and conventional raw materials. **Journal of Cleaner Production**, v. 167, p. 1314–1324, 2017. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652617311368>. Acesso em: 2 nov. 2018.

RIGAMONTI, Lucia *et al.* Supporting a transition towards sustainable circular economy: sensitivity analysis for the interpretation of LCA for the recovery of electric and electronic waste. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 22, p. 1278–1287, 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs11367-016-1231-5.pdf>. Acesso em: 2 nov. 2018.

RIVERO, Ana Jiménez; SATHRE, Roger; NAVARRO, Justo García. Life cycle energy and material flow implications of gypsum plasterboard recycling in the European Union. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 108, p. 171–181, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.01.014>. Acesso em: 2 nov. 2018.

RIZOS, Vasileios; TUOKKO, Katja; BEHRENS, Arno. **The Circular Economy A review of definitions, processes and impacts**. Brussels: CEPS Research Reports, 2017.

ROMBACH, G. Raw material supply by aluminium recycling – Efficiency evaluation and long-term availability. **Acta Materialia**, v. 61, n. 3, p. 1012–1020, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359645412006386>. Acesso em: 4 set. 2019.

SAAVEDRA, Yovana M. B. *et al.* Theoretical contribution of industrial ecology to circular economy. **Journal of Cleaner Production**, v. 170, p. 1514–1522, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617321728?via%3Dihub>. Acesso em: 18 jul. 2019.

SEVIGNÉ-ITOIZ, Eva *et al.* Environmental consequences of recycling aluminum old scrap in a global market. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 89, p. 94–103, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.05.002>. Acesso em: 2 nov. 2018.

SOO, Vi Kie; COMPSTON, Paul; DOOLAN, Matthew. Is the Australian Automotive Recycling Industry Heading towards a Global Circular Economy? – A Case Study on Vehicle Doors. 2016. Disponível em: www.sciencedirect.com. Acesso em: 2 nov. 2018.

SU, Biwei *et al.* A review of the circular economy in China: moving from rhetoric to implementation. **Journal of Cleaner Production**, v. 42, p. 215–227, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652612006117>. Acesso em: 4 set. 2019.

TRANFIELD, David; DENYER, David; SMART, Palminder. Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. **British Journal of Management**, v. 14, p. 207–222, 2003.

TSILYANNIS, Christos Aristeides. Sustainability by cyclic manufacturing: Assessment of resource preservation under uncertain growth and returns. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 103, p. 155–170, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344915300343>. Acesso em: 18 jul. 2019.

UN, 2017. World Population Prospects - The 2017 Revision. United Nations, New York.

VILLARES, Marco *et al.* Applying an ex-ante life cycle perspective to metal recovery from e-waste using bioleaching. **Journal of Cleaner Production**, v. 129, p. 315–328, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.066>. Acesso em: 2 nov. 2018.

WALKER, Stuart *et al.* Evaluating the Environmental Dimension of Material Efficiency Strategies Relating to the Circular Economy. **Sustainability**, v. 10, n. 3, p. 666, 2018. Disponível em: <http://www.mdpi.com/2071-1050/10/3/666>. Acesso em: 2 nov. 2018.

WINANS, K.; KENDALL, A.; DENG, H. The history and current applications of the circular economy concept. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 68, p. 825–833, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116306323?via%3Dihub>. Acesso em: 24 abr. 2019.

YUAN, Zengwei; BI, Jun; MORIGUICHI, Yuichi. The Circular Economy A New Development Strategy in China. **Journal of Industrial Ecology**, p. 4–8, 2006. Disponível em: <http://mitpress.mit.edu/jie>. Acesso em: 11 out. 2018.

ZHOU, Jun *et al.* A quality evaluation model of reuse parts and its management system development for end-of-life wheel loaders. **Journal of Cleaner Production**, v. 35, p. 239–249, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652612002685>. Acesso em: 4 set. 2019.

ZINK, Trevor; GEYER, Roland. Circular Economy Rebound. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. 3, p. 593–602, 2017. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1111/jiec.12545>. Acesso em: 22 ago. 2019.

3. ARTIGO 02 – Investigação da aderência de embalagens de vidro à Economia Circular e a realidade do Brasil

Amália Koefender ^a; Fernando Gonçalves Amaral ^b

^aDepartamento de Engenharia de Produção e Transportes, UFRGS – amalia.koe@gmail.com

^bDepartamento de Engenharia de Produção e Transportes, UFRGS – amaral@producao.ufrgs.br

Resumo

A Economia Circular apresenta uma abordagem sistemática para enfrentar os desafios da escassez de recursos, impactos ambientais e desenvolvimento econômico. Nesse sistema, resíduos são considerados um recurso potencial, substituindo o conceito de 'fim de vida' por restauração, reaproveitamento ou reciclagem. A produção de vidro é um exemplo onde o material pós-consumo é frequentemente utilizado como matéria-prima para novas embalagens. O vidro é reconhecido por sua reciclabilidade, indicando ser um material muito aderente às premissas da Economia Circular, mas as taxas de reciclagem em diversos locais ainda não refletem todo esse potencial. Dessa forma, o presente estudo visa compreender a aderência das embalagens de vidro à Economia Circular, confrontando com o panorama brasileiro de reciclagem e as eventuais barreiras encontradas no país. Através de revisão da literatura, foram desenvolvidos questionários que, após respondidos por empresas e entidades do setor de produção e comercialização de embalagens de vidro, contribuíram com maiores informações sobre o contexto da cadeia de reciclagem do vidro no país. Verifica-se que as barreiras logísticas, baixa qualidade dos cacos e pouco incentivo financeiro dificultam a evolução das taxas de reciclagem do vidro.

Palavras-chave: Economia Circular; Gestão de resíduos; Vidro; Logística Reversa.

Abstract

Circular Economy presents a systematic approach to face the challenges of resource scarcity, environmental impacts and economic development. In a circular system, waste is considered a potential resource, replacing the concept of 'end of life' with restoration, reuse or recycling. For example, glass packaging is often made of raw materials and glass cullets. Glass is recognized for its recycling potential, indicating a material that is very adherent to the premises of the Circular Economy. However, recycling rates in several places still do not reflect all this potential. Thus, the present study aims to understand the connection of glass packaging to the Circular Economy, the Brazilian scenario of recycling and the eventual barriers for the circularity. Questionnaires were prepared based on a literature review and sent to companies and entities in the sector of production and trade of glass packaging. The research pointed out that the logistical barriers, low quality of the glass cullet and little financial incentive can limit the evolution of the glass recycling rates.

Keywords: Circular Economy; Waste Management; Glass; Reverse Logistics.

3.1. Introdução

A Economia Circular apresenta uma abordagem sistemática para enfrentar os desafios da escassez de recursos, impactos ambientais e desenvolvimento econômico (LIEDER & RASHID, 2016). A proposta é um sistema industrial que é restaurador ou regenerativo por intenção e design. Substituindo o conceito de 'fim de vida' por restauração, mudando o uso de energia para renovável, eliminando o uso de produtos químicos tóxicos, que prejudicam a reutilização, e visando a eliminação de resíduos através do design de materiais, produtos, sistemas e modelos de negócios (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013). As perspectivas da Economia Circular são atraentes (GHISELLINI *et al.*, 2016), e sua abordagem sistemática faz com que este movimento seja não só importante, mas inevitável, trazendo uma perspectiva futura de geração de emprego e competitividade (LIEDER & RASHID, 2016; DESELNICU *et al.*, 2018). Apesar disso, a maioria dos modelos de negócios, produtos e cadeias de suprimento foram desenvolvidas para operar em sistemas lineares e por isso encontram grande dificuldade de se adaptar às dinâmicas de sistemas fechados (LIEDER & RASHID, 2016). Para viabilizar a Economia Circular é essencial que haja interação dinâmica entre modelos de negócios, design de produtos, cadeias de suprimentos e clientes (LIEDER & RASHID, 2016).

Dos diversos conceitos associados à Economia Circular, gestão de resíduos é o subsetor mais relevante (MERLI *et al.*, 2018), pois é o foco central quando se trata do fechamento dos ciclos. Na Economia Circular, resíduos são considerados um potencial recurso (PARK & CHERTOW, 2014), e a inclusão dos resíduos no design de produtos e processos permite fechar o ciclo, na forma de material ou energia, aumentando a eficiência do sistema (GHISELLINI *et al.*, 2016). O uso dos materiais ao fim da vida deve ser planejado ainda na fase de desenvolvimento dos produtos (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013), viabilizando uma gestão de resíduos mais sistemática e seguindo a hierarquia definida para o gerenciamento de resíduos sólidos: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010). Essa estratégia também reduz a dependência dos recursos naturais e, por

isso, pode ser vantajosa em mercados voláteis. Através de um gerenciamento cuidadoso, pode-se reter o valor dos produtos até o fim da vida útil (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013; BAKKER *et al.*, 2014).

A problemática das embalagens e sua sustentabilidade são assuntos muito discutidos dentro da temática de gestão de resíduos (BOESEN *et al.*, 2019). A maioria das embalagens é usada para cobrir e proteger os alimentos, e os materiais mais comuns são vidro, alumínio, chapa de estanho, plástico, papel, papelão e madeira - sendo todos eles matérias-primas valiosas (secundárias) com potencial para reaproveitamento (NELLES *et al.*, 2016). Para facilitar a transição para uma Economia Circular, deve-se concentrar em cada tipo de material separadamente, pois os níveis de reciclagem, os estoques e os fluxos são diferentes (BIRAT, 2015). Por isso as análises do presente trabalho focam-se apenas em um tipo de embalagem: as de vidro.

As embalagens de vidro são, no geral, percebidas como as mais sustentáveis entre os diferentes materiais (VAN DAM & VAN TRIJP, 1994; BOESEN *et al.*, 2019). Não somente por isso, o vidro se tornou um material muito importante e hoje desempenha um papel fundamental tanto nos setores mais tradicionais como construção, automotivo e de embalagens, quanto em setores mais inovadores. A composição do vidro pode seguir diversas fórmulas, e cada uma delas apresenta diferentes propriedades mecânicas, óticas, químicas, térmicas, de acordo com o seu uso (TESTA *et al.*, 2017). O tipo mais comum de vidro é normalmente formado por dióxido de silício, óxido de sódio e óxido de cálcio (SCHMITZ *et al.*, 2011), provenientes de matérias-primas como areia, barrilha e calcário, além dos próprios cacos de vidro (LANDIM *et al.*, 2016), que são misturados e derretidos a altas temperaturas, entre 1500°C e 1600°C (TESTA *et al.*, 2017). O vidro, quando livre de substâncias poluentes, pode ser reciclado indefinidamente sem perder nenhuma de suas qualidades (LEBULLENGER & MEAR, 2019).

Quando seguem o caminho da coleta seletiva, os resíduos recicláveis são geralmente triados após a coleta e enviados às indústrias recicladoras, onde são processados

para serem reintroduzidos no mercado (COBO, *et al.*, 2018). Na maioria dos países desenvolvidos, a taxa de reciclagem de vidro chega a 80% (LANDI *et al.*, 2019). No Brasil existem dados divergentes, apontando que de 11% (IPEA, 2012) a quase 50% (CEMPRE, 2013) do vidro comercializado no Brasil retorna para o processo produtivo através da reciclagem. A Alemanha é um exemplo de país que alcança indicadores consistentes de reciclagem de vidro, pois a política de gestão de resíduos é baseada em ciclos fechados e responsabiliza os fabricantes e distribuidores de produtos pelo correto descarte de resíduos (NELLES *et al.*, 2016), enquanto no Brasil, recicla-se apenas 3% de todo o resíduo que é coletado (SNIS, 2019). O vidro é um material não biodegradável e por isso, evitar que esse material seja encaminhado para aterros é um desafio a ser enfrentado (JANI & HOGGLAND, 2014). Para que a circularidade dos materiais seja viabilizada, são necessárias sinergias industriais em redes de larga escala. Por isso, a reciclabilidade dos materiais depende não só da viabilidade técnica, mas também da disponibilidade de instalações para coletar, classificar e recuperar os produtos ao fim da vida útil (ACCORSI *et al.*, 2015).

O vidro é amplamente reconhecido por sua reciclabilidade, indicando ser um material muito aderente às premissas da Economia Circular. Apesar disso, em alguns locais, como no Brasil por exemplo, as taxas de reciclagem ainda não refletem todo esse potencial. Dessa forma, o presente estudo visa compreender a aderência das embalagens de vidro à Economia Circular, confrontando com o panorama brasileiro de reciclagem e as eventuais barreiras encontradas no país. Para isso, foi realizada uma revisão da literatura, onde foram analisados artigos publicados em revistas internacionais. O cenário brasileiro foi analisado primeiramente através de dados consolidados publicados por entidades do setor. A partir desses dados, desenvolveu-se um questionário para identificar o caminho da reciclagem do vidro e as barreiras encontradas no Brasil. O questionário, respondido por empresas e entidades envolvidas com a produção e comercialização de embalagens de vidro, complementa as informações encontradas. O estudo focou somente na aderência de embalagens de vidro à Economia Circular, por isso não foram considerados os usos do material na construção civil, indústria automotiva, eletrônicos e outros.

3.2. Metodologia

A metodologia que estruturou este artigo baseou-se em um estudo de caso. Este tipo de metodologia se destina a responder questões relacionadas a ‘como’ e ‘por que’ (Yin, 2001) e contemplou 3 etapas: Revisão da literatura, contemplando o cenário Internacional e o cenário brasileiro (Definições e planejamento); Preparação e aplicação de questionário específico (Preparação e Coleta de dados) e a Análise e Conclusão. O presente trabalho é caracterizado como qualitativo, procurando relacionar diferentes fontes de dados de forma a diagnosticar os caminhos e potenciais das embalagens de vidro dentro da Economia Circular.

3.2.1. Etapa 1 - Revisão da Literatura

Cenário Internacional

A pesquisa foi desenvolvida com base em uma revisão da literatura, que buscou revisar o assunto de maneira imparcial. Duas importantes bases de dados foram utilizadas para a busca: *Science Direct* e *Scopus*, de forma a incluir a maior parte das publicações relevantes sobre o assunto. A busca foi realizada somente em artigos de língua inglesa, pesquisando os títulos, palavras-chave e resumo de artigos com o uso de operação *booleana* com os seguintes termos: “*Circular Economy*” AND “*glass*”.

A busca completa resultou em 103 artigos, sem restrição de período temporal, por isso entraram na revisão todos os artigos publicados até setembro de 2019. O processo de triagem removeu os artigos duplicados e buscou identificar e selecionar apenas os artigos que potencialmente pudessem contribuir para o foco da pesquisa. Dois revisores foram responsáveis pela seleção, para garantir o melhor uso dos critérios desde o início da pesquisa. Primeiramente, a triagem foi realizada através da avaliação dos títulos dos trabalhos, retirando aqueles cujo foco não contemplasse embalagens de vidro e economia circular. Foram descartados nessa etapa todos os artigos que tratavam da reciclagem de eletrônicos, vidros planos, e outros. Foi realizada então a leitura dos 14 artigos selecionados

nessa etapa. Destes, somente 2 artigos foram descartados, por não tratarem da Economia Circular do vidro, e a revisão foi realizada com 12 artigos, contendo diferentes abordagens sobre as embalagens de vidro dentro da Economia Circular.

Cenário Brasileiro

Buscando entender o panorama brasileiro e a situação do vidro dentro das premissas da economia circular, foi realizada uma pesquisa em diversas publicações de entidades que divulgam estatísticas sobre gestão de resíduos sólidos no Brasil, por exemplo, o SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento), ABRELPE (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais), CEMPRE (Compromisso Empresarial para Reciclagem), e ABIVIDRO (Associação Brasileira das Indústrias de Vidro), ANCAT (Associação Nacional dos Catadores e Catadoras de Materiais Recicláveis). Os dados divulgados englobam a situação nacional sobre a geração, coleta, triagem e destinação de resíduos sólidos urbanos. Foram resumidos os dados relacionados às embalagens de vidro e buscou-se analisar as suas particularidades.

3.2.2. Etapa 2 - Preparação e aplicação de questionário específico

As informações coletadas através da revisão e da pesquisa foram utilizadas para elaborar os questionários que visam entender na prática o caminho da reciclagem do vidro no Brasil e as barreiras desse mercado. Os questionários com questões abertas (Apêndice A) buscam coletar dados atualizados, pontos de vista e informações práticas sobre o mercado da reciclagem de vidro. Os questionários foram enviados para empresas e entidades do setor de produção e comercialização de embalagens de vidro no Brasil.

3.2.3. Etapa 3 – Análise e Conclusão

Esta etapa consistiu na análise das respostas aos questionários que foram resumidas e confrontadas com as informações coletadas nas fases anteriores, de forma a fazer uma triangulação de dados para conclusão a respeito do problema tratado.

3.3. Resultados

Os artigos selecionados pela revisão foram utilizados para busca e extração de informações relevantes sobre o uso do vidro e suas propriedades. A revisão explora esses dados, complementados com publicações brasileiras sobre Gestão de Resíduos no Brasil.

3.3.1. Revisão da Literatura

Cenário Internacional

Os consumidores associam instintivamente diferentes níveis de impacto ambiental a cada tipo de embalagem (VAN DAM & VAN TRIJP, 1994) e, de acordo com Boesen *et al.* (2019), no geral, as embalagens de vidro são percebidas como o material mais sustentável, principalmente no caso das garrafas reutilizáveis. Os consumidores parecem perceber o vidro e biomateriais como sustentáveis, os plásticos em geral como prejudiciais ao meio ambiente e não existe um consenso sobre embalagens multicamadas (BOESEN *et al.*, 2019; VAN DAM & VAN TRIJP, 1994).

Embalagens, principalmente de alimentos, devem atender diversos requisitos com relação a preservação da qualidade dos produtos. As embalagens de vidro se destacam nesse quesito, proporcionando uma barreira completa e evitando qualquer perda de qualidade devido a penetração ou vazamento (SCHRENK, 2014). O material da embalagem não interage com o conteúdo, por isso é considerado um material muito seguro, mesmo reciclado (SELVE, 2019). É feito de matérias-primas naturais, areia, carbonato de sódio e calcário e seus principais componentes, os silicatos de potássio e sódio, são não-tóxicos e inertes (SELVE, 2019). Embalagens de vidro podem ser reutilizadas por muito tempo, e ainda recicladas, sem que isso afete a qualidade do material ou a segurança do conteúdo, por isso é um material alinhado com os principais conceitos da Economia Circular (SELVE, 2019; LIN, 2018).

O vidro foi classificado como um “Material Permanente”, pois pode ser completamente e eternamente reciclado, sem degradação da estrutura intrínseca do material e sem perda significativa de massa (TESTA *et al.*, 2017, TIOZZO & FAVARO, 2016; GROSSO *et al.*, 2017). Ainda que evidências apontem que limitações da reciclagem se aplicam também aos materiais permanentes (GROSSO *et al.*, 2017), as garrafas de vidro pós-consumo podem ser recicladas em ciclo fechado sem a necessidade de adição de matéria-prima virgem (TIOZZO & FAVARO, 2016). Sendo assim, com relação à Economia Circular, o vidro apresenta três vantagens importantes: pode ser reutilizado e reciclado múltiplas vezes, e sua qualidade não sofre alterações durante esses processos (SELVE, 2019; HSIEH *et al.*, 2017; TESTA *et al.*, 2017).

A fabricação de embalagens de vidro é um processo de uso intensivo de matéria-prima e energia, pois requer altas temperaturas (até 1550°C) para o derretimento (TESTA *et al.*, 2017). Durante a reciclagem, o uso de cacos de embalagens de vidro pós-consumo pode substituir parte da matéria-prima, reduzindo os custos de produção, a energia necessária para a produção do novo produto e o impacto ambiental associado (TESTA *et al.*, 2017). Sendo assim, a reciclagem do vidro reduz o consumo de matéria-prima virgem, o volume de resíduos, o gasto de energia e os impactos ambientais (HSIEH *et al.*, 2017), além de oferecer uma gama abrangente e robusta de diferentes produtos e usos (LIN, 2018). De forma geral, cada aumento de 10% de cacos na composição da matéria prima para produção de vidro resulta em uma economia de 2 a 3% de energia no processo de fusão, que utiliza 75% de toda a energia necessária para produção de vidro (SCALET *et al.*, 2013). A disposição final do resíduo de vidro tem um custo, enquanto seu aproveitamento como matéria-prima pode gerar economia e reduzir os impactos ambientais (LIN, 2018). Esse princípio se aplica a diversos outros materiais. Landi *et al.* (2019) ressalta que, apesar disso, o processamento e derretimento dos cascos, importantes etapas da reciclagem, ainda requerem expressiva quantidade de energia. Sendo assim, a reciclagem não é um processo isento de impactos, apesar de consumir menos energia do que a produção de embalagens de vidro a partir de matéria-prima virgem. E independentemente das diversas vantagens técnicas do uso e

reciclagem de vidro, as indústrias do setor ainda enfrentam incertezas sobre as necessidades do mercado e baixas margens de lucro, que estão entre as mais baixas das indústrias de reciclagem (HSIEH *et al.*, 2017). Para alcançar maior competitividade, seria interessante que o uso de materiais reciclados apresentasse um valor agregado em comparação com o uso de materiais virgens (GROSSO *et al.*, 2017).

Um ponto crucial para garantir a viabilidade da cadeia de reciclagem do vidro envolve a coleta e separação do material. Grande parte do vidro resgatado através da coleta de resíduos comum se encontra quebrado e misturado em diversas cores, apresentando ampla variação de sua composição química, além da contaminação com rótulos, tampas e diversos componentes dos produtos (FEDERICO & CHIDIAC, 2009). Quando coletado dessa forma, se faz necessária uma etapa de separação preliminar adicional para separar as diferentes frações de resíduos (GIUGLIANO *et al.*, 2011). O nível de mistura dos cacos e a presença de elementos como cromo e ferro, que alteram a cor do vidro, impactam a sua qualidade para reprocessamento, visto que a produção de vidro se dá majoritariamente nas cores verde, transparente e âmbar, e sua mistura influencia a cor resultante do material reciclado (TESTA *et al.*, 2017; GROSSO *et al.*, 2017). A coleta do vidro separadamente de outros materiais é uma forma de maximizar a porcentagem de vidro que pode ser reciclada, pois garante que o resíduo fique relativamente limpo. Entretanto, este método de coleta esbarra em diversos desafios desde o layout das cidades, colaboração da população, até o financiamento desse serviço (TESTA *et al.*, 2017; NELLES *et al.*, 2016). Inovações da tecnologia de reprocessamento de vidro e da segregação por cores são muito importantes para bons resultados de reciclagem de vidro (TESTA *et al.*, 2017). Em um mercado de margens baixas, a qualidade do produto final e seu custo são fatores críticos para a sobrevivência da empresa (HSIEH *et al.*, 2017), e por isso a pureza da matéria-prima é muito importante.

A baixa qualidade do vidro residual e a dificuldade de encontrar mercado para os produtos podem dificultar a abordagem de ciclo fechado (DESCHAMPS *et al.*, 2018). DESCHAMPS *et al.* (2018) também questiona os benefícios ambientais de um sistema de

coletas de vidro, ou intensiva seleção de material, para posterior transporte de grandes distâncias até uma indústria de fabricação de vidro. Os processos de purificação necessários para produção de vidro podem inviabilizar seu reaproveitamento, fazendo com que o material seja destinado a aterros sanitários (DESCHAMPS *et al.*, 2018; LANDI *et al.*, 2019), gerando custos e desperdiçando matéria-prima (LIN, 2018). Pode ser vantajoso, então, que a qualidade de separação do vidro residual altere também o seu possível destino. Prioritariamente, a fração com qualidade superior pode ser mais adequada para produção de vidro, enquanto níveis inferiores podem ser utilizados em cerâmica, ou produção de cimento (HSIEH *et al.*, 2017). Autores apontam que o vidro residual tem se mostrado uma matéria-prima interessante para a indústria da construção civil (LIN, 2018; AHMAD *et al.*, 2012), em forma de blocos de isolamento, “grãos” para estradas (HSIEH *et al.*, 2017), pó de vidro substituindo parcialmente cimento (DESCHAMPS *et al.*, 2018; BIGNOZZI *et al.*, 2015; JANI & HOGLAND, 2014), ou espuma de vidro (HAUPT *et al.*, 2017; BLENGINI *et al.*, 2012; ARULRAJAH *et al.*, 2015). Essa forma de reaproveitamento é chamada de ciclo aberto, enquanto o ciclo fechado se dá quando um produto é reciclado para produzir outro com a mesma funcionalidade que o original (HAUPT *et al.*, 2017).

Boesen *et al.* (2019) também aponta que a percepção que os consumidores têm sobre a sustentabilidade das embalagens nem sempre está de acordo com os resultados encontrados através da Avaliação de Ciclo de Vida (ACV). Os resultados mostram que os impactos dependem majoritariamente do destino final da embalagem, que depende não só das condições de infraestrutura, como também do comportamento dos consumidores. Avaliando a performance de embalagens de cerveja e refrigerante através de ACV, Boesen *et al.* (2019) encontrou diferenças significativas entre a magnitude do impacto ambiental das embalagens de vidro de uso único e aquelas retornáveis, apesar de os consumidores aparentemente não perceberem essa diferença. O reuso de embalagens de vidro permite sua recuperação total, quando não danificada, evitando não só o uso de matéria-prima virgem, como também o uso intensivo de energia para reprocessamento do material (LANDI

et al., 2019). Para reutilização, as embalagens devem passar pelos processos de coleta, transporte, lavagem, esterilização e secagem (LANDI *et al.*, 2019).

O processo de reciclagem do vidro tem diversas etapas, começando pela coleta e transporte do vidro residual, e passando por diversos processos para remoção de impurezas (TESTA *et al.*, 2017; LIN, 2018). O nível de separação nessa etapa afeta a qualidade e o possível destino do material, que pode ser separado inclusive manualmente por cor (LIN, 2018). As etapas seguintes são: pulverização mecânica, remoção de ferro através de separação magnética, lavagem para remoção de matéria orgânica e remoção de alumínio através de vibração, resultando então o pó de vidro (LIN, 2018). Ainda são necessárias melhorias adicionais para reduzir os impactos ambientais desse processo, aprimorando não só o uso de cacos, mas também a qualidade dos produtos (TESTA *et al.*, 2017). O uso de cacos de vidro pode reduzir significativamente o consumo de energia, pois a energia necessária para o derretimento das matérias-primas já foi fornecida (SCALET *et al.*, 2013). Como a energia utilizada para o derretimento da matéria-prima pode representar grande parte da energia total necessária para produção de vidro, a reciclagem do vidro apresenta vantagens interessantes de economia de energia (TESTA *et al.*, 2017; SCALET *et al.*, 2013).

A reciclagem de vidro se encontra em diferentes estágios em diversas partes do mundo, e seu desenvolvimento depende fortemente da indústria local e das taxas de recuperação das embalagens pós-consumo. No Canadá, apesar de alta taxa de recuperação de vidro, os resíduos misturados de vidro ainda dificultam sua reciclagem para alguns usos e mercados (DESCHAMPS *et al.*, 2018). A Europa é o continente com a maior taxa de reciclagem de vidro (TESTA *et al.*, 2017), com 71% de recuperação das embalagens. A Suíça, por exemplo, possui sistema de coleta de embalagens de vidro separadas por cor (HAUPT *et al.*, 2017), e por isso tem um dos melhores desempenhos do continente, apresentando taxa de recuperação de 97%. As taxas de reciclagem de Taiwan também estão entre as mais altas do mundo, representando as melhores práticas no que diz respeito à indústria de reciclagem de vidro (HSIEH *et al.*, 2017).

Cenário Brasileiro

Os dados sobre gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil são disponibilizados por diversos órgãos representantes do setor. A Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), o Compromisso Empresarial para Reciclagem (CEMPRE), a Associação Nacional dos Catadores e Catadoras de Materiais Recicláveis (ANCAT) e a Associação Brasileira das Indústrias de Vidro (Abividro) utilizam seus associados como fonte de dados e suas publicações foram incluídas na pesquisa. O Sistema Nacional de Informação em Saneamento (SNIS), o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) também divulgam dados sobre o assunto e foram consultados para complementar os dados aqui apresentados.

A Abividro calcula um consumo médio de 6 kg de embalagens de vidro por habitante por ano, apontando que este consumo aumenta conforme o poder aquisitivo da população. Já o IPEA (2012) estima que o consumo médio foi de 5,5 kg de embalagens de vidro por habitante em 2008, e que isso representa 40% do consumo deste material. Em 2008, estima-se que o consumo de vidro foi de mais de 2.400 mil toneladas no país (IPEA, 2012).

O IPEA (2012) aponta que em 2008 foram recuperadas 50,9 mil toneladas de vidro através de programas de coleta seletiva. De acordo com a Abividro, das 1.030.000 toneladas de vasilhames sujeitos à logística reversa produzidos em 2016, foram recuperadas 284.000, representando índice de reciclagem de 27,6%. Enquanto o IPEA (2012) aponta que a taxa de reciclagem de embalagens de vidro é de 47%. Deve-se salientar que as embalagens de vidro também apresentam a possibilidade de reutilização, tanto pela própria indústria quanto pelo mercado informal (IPEA, 2012). Estima-se que 20% das embalagens sejam reutilizadas pela indústria, enquanto o reuso caseiro e informal representa 33% (ABRELPE, 2010).

O vidro corresponde aproximadamente a 10%, em peso, de todo o material comercializado pelas cooperativas de triagem (ANCAT, 2019). Esse valor varia de acordo com a fonte de dados. Segundo o SNIS (2019), o vidro representa 11,2% de todo o material

reciclável recuperado. O CEMPRE (2013) retrata a composição gravimétrica do material reciclável coletado, onde o vidro representa 8%, enquanto 24% é rejeitado, por falta de segregação adequada. O IPEA aponta que a participação do vidro no total de resíduos coletados é de 2,4%.

Foi identificada uma redução no volume de vidro recuperado entre os anos de 2017 e 2018, junto de uma redução do seu preço médio de comercialização (aproximadamente 48% de redução) (ANCAT, 2019). O vidro é o material com menor média de preços, e ainda registrou a maior queda entre os materiais analisados em 2017 e 2018. Dessa forma, a representatividade da venda de vidro no faturamento das cooperativas e associações acompanhadas pela ANCAT (Associação Nacional dos Catadores e Catadoras de Materiais Recicláveis) teve redução de 65% entre os anos de 2017 e 2018. A maior parte do vidro é vendida em forma de cacos, sem diferenciação por cor, enquanto a venda de garrafas e garrafões tem o maior preço médio na categoria. Segundo o IPEA (2012), uma parte significativa da coleta de materiais recicláveis é realizada informalmente e por isso estes dados não são computados nas estatísticas oficiais. Sendo assim, os dados utilizados normalmente representam a quantidade mínima dos materiais. Além disso, de acordo com o SNIS (2019), somente 35,5% dos municípios utilizam balança para pesagem rotineira dos resíduos. Sendo assim, grande parte das informações são estimadas e por isso podem ser pouco precisas.

A comercialização de vidro para reciclagem aponta algumas particularidades do material. Primeiramente, existem dificuldades técnicas para se reciclar vidros diferentes, como vidros de embalagem juntamente com vidros planos (IPEA, 2012). O vidro também apresenta a maior discrepância regional de faturamento nas cooperativas e associações acompanhadas pela ANCAT. Em 2018, por exemplo, 61% de todo o faturamento com a venda de vidro foi concentrado na região Sudeste, em contraste com 1% na região norte (ANCAT, 2019). O CEMPRE (2013) aponta outro dado importante, que estima a vantagem econômica de utilizar matéria-prima reciclada ao invés de matéria-prima virgem. Enquanto no caso do alumínio, essa vantagem é de R\$2715 por tonelada de material, o vidro

apresenta o menor valor, com vantagem de apenas R\$120. Essa diferença também é consequência de diversas características intrínsecas ao vidro: matéria-prima barata, peso elevado, qualidade dos cacos pós-consumo.

3.3.2. Análise dos questionários

As respostas obtidas através da aplicação dos questionários com perguntas abertas (Apêndice A) complementam as informações extraídas da literatura. As contribuições de duas empresas produtoras de embalagens de vidro e uma entidade representante do setor foram utilizadas para entender o caminho do vidro pós-consumo no Brasil, bem como as barreiras para sua reciclagem. Na Tabela 2 são apresentados os respondentes.

Tabela 2 Respondentes do questionário e classificação das respectivas entidades

Setor de atuação	Nº de funcionários no Brasil	Respondente	Unidades produtivas no Brasil
Empresa privada produtora de embalagens de vidro	750	Coordenadora de meio ambiente	São Paulo (SP), Porto Ferreira (SP), Jacutinga (MG) e Campo Bom (RS)
Empresa privada produtora de embalagens de vidro	2373	Especialista de Caco	São Paulo (SP), Rio de Janeiro (RJ), Recife (PE) e Vitória (ES)
Entidade representante do setor	Não informado	Gerente de Sustentabilidade	Não se aplica

Ciclo Reverso do Vidro no Brasil

Ambas as empresas entrevistadas utilizam cacos de vidro em todas as suas unidades produtivas como matéria-prima para novas embalagens. De acordo com elas, o vidro utilizado é proveniente de cooperativas de triagem, indústrias e empresas gestoras de

resíduos recicláveis. Ambas as empresas entrevistadas recebem esse material pronto para o uso, ou seja, segregado por cor, isento de contaminantes como tampas e rótulos, e com níveis controlados de impurezas como material orgânico, materiais ferrosos e cerâmicos. Sendo assim, frequentemente se faz necessário que o vidro coletado pós-consumo passe por uma etapa de limpeza do vidro, em empresas beneficiadoras, que entregam então os cacos de vidro dentro dos padrões de qualidade para as indústrias produtoras de vidro. As empresas beneficiadoras compram o vidro de cooperativas e outras entidades coletoras de materiais recicláveis, fazem a remoção dos contaminantes e impurezas e vendem os cacos limpos para as recicladoras. De acordo com a entidade representante do setor, tudo que é recuperado retorna como caco para as indústrias e é utilizado na fabricação de novas embalagens. Usos alternativos para o vidro pós-consumo ainda são usos marginais e de pequena escala no país.

As respostas dos questionários reforçam que o uso de cacos na fabricação de embalagens de vidro reduz significativamente o consumo de energia elétrica e conseqüentemente as emissões de CO₂. Também citam a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010) e os programas de logística reversa como possíveis formas de incentivar a reciclagem de vidro.

Barreiras para a Reciclagem de Vidro

Uma das empresas informou que, tecnicamente, os cacos de vidro poderiam ser a única matéria-prima de novas embalagens desse material, enquanto a outra apontou que poderiam representar até 90%. Para alcançar essas taxas, as duas empresas apontaram que é preciso maior disponibilidade de cacos de vidro para a indústria, através de melhoria nas políticas públicas de coleta de resíduos recicláveis, aumento da eficiência do sistema de coleta seletiva e maior responsabilidade por parte dos consumidores e geradores de resíduos. Apontou-se também que a qualidade do caco é outro fator importante para aumentar as taxas de reciclagem. A entidade representante do setor reforçou ainda que há

falta de oferta de cacos de vidro e que, portanto, os programas de coleta seletiva devem ser melhorados para que as taxas de reciclagem aumentem.

As desvantagens técnicas da utilização de cacos na produção de embalagens de vidro estão relacionadas com os contaminantes. A qualidade do produto final pode ser afetada por impurezas provenientes dos cacos. Copos de cristal, espelhos, louça de cerâmica e lâmpadas são contaminantes de difícil separação que inviabilizam a reciclagem. Além disso, para produção de vidro transparente, só é possível a utilização de cacos transparentes. As limitações financeiras também afetam a reciclagem do vidro. O transporte dos cacos em longas distâncias pode inviabilizar a sua reciclagem, e a incidência de impostos para a venda de caco não incentiva o seu uso.

3.4. Discussão

O vidro é um material com muitas vantagens do ponto de vista técnico. Produz embalagens seguras (SELVE, 2019) e é considerado um material permanente e que pode ser eternamente reciclado, sem perder suas propriedades (TESTA *et al.*, 2017, TIOZZO & FAVARO, 2016; GROSSO *et al.*, 2017). Essas características fazem com que o vidro seja reconhecido por sua reciclabilidade e possibilidade de reuso e, conseqüentemente, é considerado um material sustentável (VAN DAM & VAN TRIJP, 1994; BOESEN *et al.*, 2019). Ambas as empresas entrevistadas confirmaram que a utilização de cacos na produção de vidro reduz o consumo de energia elétrica e as emissões de gases, conforme verificado na literatura (TESTA *et al.*, 2017).

Apesar de suas características físicas e das vantagens da reciclagem do vidro, a reciclabilidade de um material não depende somente da viabilidade técnica. A disponibilidade de instalações para coletar, classificar e reprocessar o material (ACCORSI *et al.*, 2015) também é indispensável. Ambas as empresas entrevistadas informam que a distância entre consumidores e unidades produtoras pode facilmente inviabilizar o reaproveitamento do vidro, porque o valor do caco de vidro para comercialização é baixo, e o custo do transporte é alto devido ao seu peso. Por isso, a reciclabilidade do vidro também

depende da dispersão geográfica da cadeia de suprimentos (CIRAIG, 2015), visto que as longas distâncias trazem desvantagens ambientais e econômicas (COBO, *et al.*, 2018). Neste sentido, Sevigné-Itoiz *et al.* (2014) também aponta que as atividades de reciclagem devem ser promovidas em uma dimensão mais local em comparação com a global, para evitar a perda de recursos essenciais no setor industrial.

Todos os pontos da cadeia de logística reversa do vidro são essenciais para a possibilidade ou não de sua reciclagem. O nível de pureza dos cacos (FEDERICO & CHIDIAC, 2009), as formas de coleta e as tecnologias de processamento (TESTA *et al.*, 2017) também impactam, já que algumas dificuldades técnicas podem surgir da mistura de embalagens de vidro com vidros planos (IPEA, 2012), por exemplo. As empresas participantes do estudo informam que a qualidade do caco é uma barreira significativa para o aumento da proporção de caco de vidro na produção de novas embalagens, e reforçam que o nível de contaminação pode impedir a utilização dos cacos. Cobo *et al.* (2018) também aponta a necessidade de desenvolver sistemas que garantam a valorização dos materiais, com tecnologias mais eficientes de classificação e desmontagem, mas também com o apoio de políticas que promovam a correta separação dos resíduos. Em uma Economia Circular, tanto os fabricantes quanto os consumidores devem estar ativamente engajados para possibilitar a reciclagem e reutilização dos produtos, ao contrário da cultura passiva de descarte, característica da economia linear (SHAH, 2014).

O baixo valor pago pelos cacos de vidro não incentiva as cooperativas de triagem a fazer a separação. Neste contexto, a concentração de faturamento na região Sudeste (ANCAT, 2019) indica a importância da concentração geográfica dos setores envolvidos para garantir a reciclagem do vidro com menores custos de transporte. Nesse caso, o dado aponta que a indústria de produção de vidro se encontra concentrada em poucas regiões, inviabilizando que o vidro seja reciclado em muitas outras. Outro ponto que desmotiva a utilização de cacos de vidro para produção de novas embalagens é o baixo preço das matérias-primas virgens do vidro, reduzindo as vantagens econômicas de sua reciclagem (CEMPRE, 2013). Atualmente, a incidência de impostos sobre os cacos e as distâncias entre

os estabelecimentos podem afetar a viabilidade econômica da reciclagem dos cacos, conforme informado por uma das empresas participantes no estudo. Idealmente, deveriam existir indústrias recicladoras próximas de todos os mercados consumidores para viabilizar a reciclagem dos materiais, reduzindo as distâncias a serem percorridas (MEIRA *et al.*, 2018).

A Economia Circular indica que os produtos devem ser projetados e otimizados para possibilitar sua desmontagem e reutilização (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013). Ghisellini *et al.* (2016) aponta que a premissa de reuso dos materiais parece estar sendo menosprezada, enquanto, na prática, o movimento de transição a Economia Circular foca na reciclagem. Um estudo de Landi *et al.* (2019) reforça o potencial das embalagens de vidro nesse sentido, demonstrando que a reutilização de garrafas tem a vantagem de requerer menos energia do que a sua reciclagem.

DESCHAMPS *et al.* (2018) aponta que no caso do vidro, a reciclagem de ciclo aberto pode ser uma estratégia vantajosa, mas no Brasil essa estratégia ainda é pouco aplicada, conforme informado pela entidade representante do setor. Nessa forma de reciclagem, o material é reciclado em um sistema de produto diferente e suas propriedades inerentes podem ou não diferir das do material virgem (ISO, 2006; COBO, *et al.*, 2018). Por exemplo, autores sugerem que o vidro residual pode ser uma matéria-prima interessante para a indústria da construção civil (LIN, 2018; AHMAD *et al.*, 2012). Cobo *et al.* (2018) também aponta que em diversos casos pode-se questionar o melhor cenário entre reciclagem de material e recuperação de energia, mas, no caso de materiais não combustíveis, como vidro e metais, este dilema não se aplica.

3.5. Conclusão

O presente estudo buscou compreender o cenário da Economia Circular do vidro no Brasil, explorando o tema na literatura e utilizando esse contexto para identificar as barreiras da reciclagem do vidro no país. Através de questionários, duas empresas produtoras de embalagens de vidro e uma entidade representante do setor contribuíram para compor o cenário brasileiro.

Atualmente, a Economia Circular de embalagens vidro no país ainda se limita à reciclagem em ciclo fechado, ou seja, os cacos de vidro são utilizados na produção de novas embalagens. A amplitude e diversidade do território brasileiro dificulta a clareza de dados e as distâncias podem muitas vezes inviabilizar a reciclagem.

O vidro é um dos materiais cuja reciclabilidade é mais sensível a oscilações. É um material pesado, por isso os custos logísticos são expressivos. O valor da matéria-prima virgem não é impeditivo, os cacos ainda sofrem incidências tarifárias, e as indústrias recicladoras se encontram concentradas em poucas regiões do país.

Deve-se também considerar a complexidade dos sistemas de reciclagem e a importância de cada setor envolvido no processo. A correta segregação e destinação por parte dos consumidores, uma boa gestão da coleta seletiva e serviços de coleta que atendam a demandas diferenciadas podem viabilizar a recuperação das embalagens de vidro. Além disso, a existência de indústrias beneficiadoras de cacos e recicladoras em proximidade ao mercado consumidor são essenciais para que as taxas de reciclagem do vidro alcancem seu potencial. Incentivos fiscais e pressão por parte dos consumidores também podem colaborar com a consolidação do ciclo reverso do vidro em todas as regiões do país.

Os dados sobre a gestão de resíduos no Brasil ainda apresentam alguns valores discrepantes. As fontes de dados utilizadas por cada uma das pesquisas utilizadas na revisão são diferentes e por isso apontam resultados divergentes. Algumas publicações utilizam empresas e entidades associadas como fonte de informações, outras coletam dados através de questionários enviados às prefeituras, realizam visitas técnicas ou contratam consultorias para realização dos estudos. Apesar das diversas fontes, os dados divergentes encontrados sobre a gestão de resíduos no Brasil evidenciam o desafio da obtenção de dados consistentes e confiáveis sobre o assunto. A complexidade do sistema, a diversidade e amplitude do território nacional, assim como a existência de caminhos paralelos e informais por onde passa grande fração dos resíduos gerados também dificulta muito o

acompanhamento deste mercado e manutenção dos dados. Também ainda se percebe um alto nível de sigilo e insegurança no setor de gestão de resíduos sólidos no Brasil, o que dificulta a obtenção de dados confiáveis.

3.6. Referências

ABIVIDRO - Associação Brasileira das Indústrias de Vidro. Disponível em: <<https://abividro.org.br/sobre/>>. Acesso em: 15 mai. 2019.

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama Dos Resíduos Sólidos No Brasil 2018/2019**. São Paulo: 2019. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/>>. Acesso em: 15 mai. 2019.

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama Dos Resíduos Sólidos No Brasil 2010**. São Paulo: 2010. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/>>. Acesso em: 04 mar. 2020.

ACCORSI, R. et al. On the design of closed-loop networks for product life cycle management: Economic, environmental and geography considerations. **Journal of Transport Geography**, v. 48, p. 121–134, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2015.09.005>>. Acesso em: 2 nov. 2018.

AHMAD, F. et al. Assessing the potential reuse of recycled glass fibre in problematic soil applications. **Journal of Cleaner Production**, v. 35, p. 102–107, 2012. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652612002806>>. Acesso em: 4 nov. 2019.

ANCAT - Associação Nacional dos Catadores e Catadoras de Materiais Recicláveis. **Anuário da reciclagem 2017-2018**. São Paulo: 2019. Disponível em: <<https://ancat.org.br/>>. Acesso em: 15 mai. 2019.

ARULRAJAH, A. et al. Engineering and environmental properties of foamed recycled glass as a lightweight engineering material. **Journal of Cleaner Production**, v. 94, p. 369–375, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615000852>>. Acesso em: 4 nov. 2019.

BAKKER, C. et al. Products that go round: exploring product life extension through design. **Journal of Cleaner Production**, v. 69, p. 10–16, 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652614000419?via%3Dihub>>. Acesso em: 13 dez. 2019.

BIGNOZZI, M. C. et al. Glass waste as supplementary cementing materials: The effects of glass chemical composition. **Cement and Concrete Composites**, v. 55, p. 45–52, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946514001383>>. Acesso em: 4 nov. 2019.

BIRAT, J.-P. Life-cycle assessment, resource efficiency and recycling. **Metallurgical Research & Technology**, v. 112, n. 2, p. 206, 2015. Disponível em: <<http://www.metallurgical-research.org/10.1051/metal/2015009>>. Acesso em: 18 set. 2018.

BLENGINI, G. A. et al. Eco-efficient waste glass recycling: Integrated waste management and green product development through LCA. **Waste Management**, v. 32, n. 5, p. 1000–1008, 2012. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X11004776>>. Acesso em: 4 nov. 2019.

BOESEN, S.; BEY, N.; NIERO, M. Environmental sustainability of liquid food packaging: Is there a gap between Danish consumers' perception and learnings from life cycle assessment? **Journal of Cleaner Production**, v. 210, p. 1193–1206, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618334553>>. Acesso em: 11 set. 2019.

BRASIL. LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos, Brasília, 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: dez. 2019.

CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem. **Review 2013**. São Paulo: 2013. Disponível em: <<http://cempre.org.br/>>. Acesso em: 15 mai. 2019.

CIRAIG - International Reference Centre for the Life Cycle of Products, Processes and Services. **Circular Economy: A Critical Literature Review of Concepts**. Montreal: 2015. Disponível em: <http://www.ciraig.org/pdf/CIRAIG_Circular_Economy_Literature_Review_Oct2015.pdf>.

COBO, S.; DOMINGUEZ-RAMOS, A.; IRABIEN, A. From linear to circular integrated waste management systems: A review of methodological approaches. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 135, p. 279–295, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344917302422>>. Acesso em: 1 nov. 2018.

DESCHAMPS, J. et al. Is open-loop recycling the lowest preference in a circular economy? Answering through LCA of glass powder in concrete. **Journal of Cleaner Production**, v. 185, p. 14–22, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618306723>>. Acesso em: 11 set. 2019.

DESELNICU, Dana Corina, et al. "Towards a Circular Economy—A Zero Waste Programme for Europe." *International Conference on Advanced Materials and Systems (ICAMS)*. The National Research & Development Institute for Textiles and Leather-INCDTP, 2018.

Ellen MacArthur Foundation. ***Towards the Circular Economy – Economic and business rationale for an accelerated transition***. Vol. 1. Reino Unido: 2013. Disponível em: <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an-accelerated-transition>>. Acesso em: 2 nov. 2018.

FEDERICO, L. M.; CHIDIAC, S. E. Waste glass as a supplementary cementitious material in concrete – Critical review of treatment methods. **Cement and Concrete Composites**, v. 31, n. 8, p. 606–610, 2009. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0958946509000225>>. Acesso em: 4 nov. 2019.

GHISELLINI, P.; CIALANI, C.; ULGIATI, S. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 114, p. 11–32, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615012287>>. Acesso em: 10 jul. 2018.

GIUGLIANO, M. et al. Material and energy recovery in integrated waste management systems. An evaluation based on life cycle assessment. **Waste Management**, v. 31, n. 9–10, p. 2092–2101, 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X11001140?via%3Dihub>>. Acesso em: 30 out. 2019.

GROSSO, M.; NIERO, M.; RIGAMONTI, L. Circular economy, permanent materials and limitations to recycling: Where do we stand and what is the way forward? **Waste Management and Research**, v. 35, n. 8, p. 793–794, 2017.

HAUPT, M. et al. Influence of Input-Scrap Quality on the Environmental Impact of Secondary Steel Production. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. 2, p. 391–401, 2017.

HSIEH, Y. C. et al. Governing a sustainable business ecosystem in Taiwan’s circular economy: The story of spring pool glass. **Sustainability (Switzerland)**, v. 9, n. 6, 2017.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos – Relatório de Pesquisa**. Brasília: 2012.

ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 14044 - Environmental Management - Life Cycle Assessment - Requirements and Guidelines, 2006. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/38498.html>

JANI, Y.; HOGGLAND, W. Waste glass in the production of cement and concrete – A review. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 2, n. 3, p. 1767–1775, 2014. Disponível

em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343714000645>>. Acesso em: 4 nov. 2019.

LANDI, D.; GERMANI, M.; MARCONI, M. Analyzing the environmental sustainability of glass bottles reuse in an Italian wine consortium. **Procedia CIRP**, v. 80, p. 399–404, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827119300563>>. Acesso em: 11 set. 2019.

LANDIM, A. P. M. *et al.* Sustentabilidade quanto às embalagens de alimentos no Brasil. **Polímeros**, v. 26, p. 82–92, 2016.

LIEDER, M.; RASHID, A. Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 115, p. 36–51, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615018661>>. Acesso em: 10 jul. 2018.

LIN, K.-Y. User experience-based product design for smart production to empower industry 4.0 in the glass recycling circular economy. **Computers & Industrial Engineering**, v. 125, p. 729–738, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036083521830295X?via%3Dihub>>. Acesso em: 11 set. 2019.

MEIRA DE SOUSA DUTRA, R.; HARUE YAMANE, L.; RIBEIRO SIMAN, R. Influence of the expansion of the selective collection in the sorting infrastructure of waste pickers' organizations: A case study of 16 Brazilian cities. **Waste Management**, v. 77, p. 50–58, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X18303015>>. Acesso em: 7 fev. 2020.

MERLI, R.; PREZIOSI, M.; ACAMPORA, A. How do scholars approach the circular economy? A systematic literature review. **Journal of Cleaner Production**, v. 178, p. 703–722, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617330718>>. Acesso em: 16 jul. 2018.

NELLES, M.; GRÜNES, J.; MORSCHECK, G. Waste Management in Germany – Development to a Sustainable Circular Economy? **Procedia Environmental Sciences**, v. 35, p. 6–14, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878029616300901>>. Acesso em: 11 set. 2019.

PARK, J. Y.; CHERTOW, M. R. Establishing and testing the “reuse potential” indicator for managing wastes as resources. **Journal of Environmental Management**, v. 137, p. 45–53, 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479714000887?via%3Dihub>>. Acesso em: 11 dez. 2019.

SCALET, B. M. et al. **Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Manufacture of Glass**. Luxemburgo: 2013.

SCHMITZ, A. *et al.* Energy consumption and CO₂ emissions of the European glass industry. **Energy Policy**, v. 39, n. 1, p. 142–155, 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421510007081>>. Acesso em: 15 nov. 2019.

SCHRENK, D. **Literature report on food packaging materials and their potential impact on human health**. Technische Universität Kaiserslautern. Alemanha: 2014. Disponível em: <https://www.nvc.nl/userfiles/files/profschrenk-foodpackagingmaterials_final.pdf>.

SELVE, M. D. The circular economy: heart of glass. **Chimica Oggi - Chemistry Today**, v. 37, n. June, p. 48–49, 2019.

SEVIGNÉ-ITOIZ, E. et al. Environmental consequences of recycling aluminum old scrap in a global market. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 89, p. 94–103, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.05.002>>. Acesso em: 2 nov. 2018.

Shah, V. The Circular Economy's Trillion-dollar Opportunity. Singapura, 2014. Disponível em: <<http://www.eco-business.com/news/circular-economys-trillion-dollar-opportunity/>>. Acesso em: 02 mar. 2020.

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2017**. Brasília: 2019. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/>>. Acesso em: 15 mai. 2019.

TESTA, M. *et al.* Long-term sustainability from the perspective of cullet recycling in the container glass industry: Evidence from Italy. **Sustainability (Switzerland)**, v. 9, n. 10, 2017.

TIOZZO, S., FAVARO, N. Permanent Materials in the Framework of the Circular Economy Concept: Review of existing literature and Definitions, and Classification of Glass as a Permanent Material. p. 1–11, 2016.

VAN DAM, Y. K.; VAN TRIJP, H. C. M. Consumer perceptions of, and preferences for, beverage containers. **Food Quality and Preference**, v. 5, n. 4, p. 253–261, 1994. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0950329394900507?via%3Dihub>>. Acesso em: 25 out. 2019.

Yin, Robert K. Estudo de caso: planejamento e métodos | Robert K. Yin; trad. Daniel Grassi-2.ed.- Porto Alegre: Bookman, 2001

Lebullenger R. & Mear, F. O. Glass Recycling. In: Musgraves J. D., Hu J., Calvez L. **Springer Handbook of Glass**. Suíça: 2019. Disponível em:

<<https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-3-319-93728-1#about>>. Acesso em: 05 mar. 2020.

3.7. Apêndice A

Questionário

Justificativa da pesquisa: O vidro é amplamente reconhecido por suas propriedades e por sua reciclabilidade, indicando ser um material muito aderente às premissas da Economia Circular. Apesar disso, principalmente nos países não desenvolvidos, as taxas de reciclagem do vidro ainda não refletem todo esse potencial. Este questionário foi formulado com base em uma Revisão da Literatura e busca complementá-la com a realidade deste mercado de reciclagem no Brasil, para entender quais as barreiras que dificultam esse fechamento de ciclo na prática.

Caracterização

- 1) Nome da instituição:
- 2) Nome do Entrevistado:
- 3) Setor de atuação: Produto () ou Serviço ()
- 4) Número de funcionários nas operações do Brasil?
- 5) Onde estão localizadas as unidades produtivas no Brasil? Cidade/estado

Produção

- 6) Alguma das unidades utiliza resíduos de vidro na produção? Quais?
- 7) Em caso afirmativo (questão 6):
 - a) Qual a fonte desses resíduos (cooperativas de triagem, indústria, atravessadores, etc..)?
 - b) E qual o nível de separação/pureza (por cor, tamanho, qualidade)
 - c) Qual o caminho dos resíduos até chegar na empresa?
 - d) Existe algum processo prévio para utilização destes resíduos?
 - e) Tecnicamente, a produção de vidro requer matéria-prima virgem, ou poderia ser realizada somente com cacos?
 - f) Qual a % média de vidro reciclado nas embalagens?
 - g) O que poderia ajudar a aumentar essa porcentagem?
 - h) Quais os possíveis usos para o resíduo do vidro?
 - i) Caso possam informar, qual o valor pago pelos cacos?
 - j) Vantagens e desvantagens do uso de cacos de vidro na produção?
9. Quais as limitações para o uso dos cacos?
10. Separação por cor seria benéfico?
11. Existe legislação pertinente que incentive ou atrapalhe o mercado da reciclagem ou reaproveitamento do vidro?

Mercado do vidro

12. Qual a perspectiva de crescimento do mercado do vidro? Novos usos, tendências de consumo, percepção do público, etc...
13. E da reciclagem?

14. **Na opinião de vocês, quais as maiores limitações para um maior aproveitamento das embalagens pós-consumo?**

4. ARTIGO 03 – Viabilizando a Economia Circular: Valor percebido pelo cliente em empresa de coleta e destinação de resíduos sólidos

Amália Koefender ^a; Fernando Gonçalves Amaral ^b

^a Departamento de Engenharia de Produção e Transportes, UFRGS – amalia.koe@gmail.com

^b Departamento de Engenharia de Produção e Transportes, UFRGS – amaral@producao.ufrgs.br

Resumo

A Gestão de Resíduos Sólidos é uma importante estratégia da Economia Circular e, principalmente dentro de centros urbanos, enfrenta diversos desafios. Nesse cenário, a coleta de resíduos representa um elo importante que pode garantir a correta destinação dos resíduos e engajamento dos geradores de resíduos. Este artigo tem como objetivo analisar o valor percebido pelo cliente e os fatores considerados mais importantes em um serviço de gestão de resíduos que visa o reaproveitamento de materiais. O estudo de caso foi realizado através de entrevistas individuais com contratantes do serviço utilizando o método *Analytical Hierarchy Process* (AHP) para ordenar atributos do serviço em ordem de importância. O valor percebido pelos clientes parece alinhado com os princípios da Economia Circular, indicando o desvio de aterros sanitários como o atributo mais importante, com consenso moderado entre os entrevistados. A contratação do serviço parece estar associada a um nível elevado de consciência ambiental, por isso iniciativas de educação e conscientização ambiental são muito importantes para disseminação de serviços que viabilizam a Economia Circular. Outros atributos analisados foram qualidade do serviço, geração de benefício social, facilidade de implementação, preço, posicionamento de marca, sensibilização e capacitação, medição dos indicadores, documentação de destino e relacionamento com a empresa.

Palavras-chave: Gestão de resíduos sólidos urbanos; Economia Circular; Coleta de resíduos.

Abstract

Waste Management is an important Circular Economy strategy and, especially within urban centers, faces several challenges. Within this scenario, waste collection represents an important link that can guarantee the correct management of waste and the engagement of waste producers. This article aims to analyze the customer perceived value and the most important attributes in a waste management service that aims to close the cycle of materials. The case study was conducted through individual interviews with some of the service's customers using the Analytical Hierarchy Process (AHP) method to list the attributes of the service in order of importance. Customer perceived value seems to be in line with the principles of Circular Economy, indicating avoiding disposal of waste as the most important attribute of the service, with moderate consensus among respondents. The interest in the service seems to be associated with a high level of environmental awareness, which is why education and environmental awareness initiatives are very important for the dissemination of services that make Circular Economy viable. Other attributes analyzed were quality of service, generation of social benefit, ease of implementation, price, marketing, awareness and training, measurement of indicators, destination documentation and relationship with the company.

Keywords: Urban solid waste management; Circular Economy; Waste collection.

4.1. Introdução

A Economia Circular surgiu como um modelo de consumo e produção alternativo ao atual, que se baseia na sequência de 'extração-produção-consumo-disposição final'. Com uma abordagem sistemática, busca enfrentar os desafios da escassez de recursos, impactos ambientais e desenvolvimento econômico (LIEDER & RASHID, 2016). Ela representa um sistema industrial que é restaurador ou regenerativo por intenção e design, ou seja, visa a eliminação de resíduos através do design de materiais, produtos e sistemas, repensando também os modelos de negócios. Dessa forma, substitui o conceito de 'fim de vida' por restauração, reuso, reaproveitamento. Muda o uso de energia para renovável e elimina o uso de produtos químicos tóxicos, que prejudicam a reutilização (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2013).

As expectativas de geração de emprego e competitividade (LIEDER & RASHID, 2016; DESELNICU *et al.*, 2018) aliadas com a preocupação ambiental, fazem com que as perspectivas da Economia Circular sejam atraentes (GHISELLINI *et al.*, 2016), tornando esse movimento inevitável (LIEDER & RASHID, 2016). Porém, para viabilizar a Economia Circular é essencial que haja interação dinâmica entre modelos de negócios, design de produtos, cadeias de suprimentos e clientes (LIEDER & RASHID, 2016); pois, a maioria dos modelos de negócios, produtos e cadeias de suprimentos foram desenvolvidos para operações em sistemas lineares. Por isso, encontram grande dificuldade de se adaptar às dinâmicas de sistemas fechados (LIEDER & RASHID, 2016).

A Gestão de Resíduos recebe atenção especial como estratégia da Economia Circular, por ser imprescindível nessa transição (GEISSDOERFER *et al.*, 2018), sendo considerado o subsetor mais relevante (MERLI *et al.*, 2018) e é essencial para o fechamento dos ciclos. A gestão de resíduos se insere também na premissa da Economia Circular que entende os resíduos como potencial recurso (PARK & CHERTOW, 2014) e, por isso, evita a disposição final dos materiais, priorizando sempre formas de reaproveitamento. Essa premissa está alinhada à ordem de prioridade determinada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos

(PNRS), documento que regulamenta a gestão e gerenciamento de resíduos no Brasil. Ela define que deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010). A Economia Circular busca então viabilizar o reaproveitamento máximo dos materiais envolvendo também a etapa de design de produtos e processos, que permite fechar o ciclo, na forma de material ou energia, aumentando a eficiência do sistema (GHISELLINI *et al.*, 2016).

O interesse na recuperação de produtos e materiais ampliou o escopo do gerenciamento tradicional da cadeia de suprimentos, incluindo o canal reverso, que consiste em usuários finais, coletores e remanufaturadores (AKÇALI *et al.*, 2009). Uma das grandes dificuldades encontradas na implementação de uma Economia Circular é devida à diversidade de setores envolvidos (LONCA *et al.*, 2018) e a comunicação limitada entre eles (GILBERT *et al.*, 2017). Sendo assim, os serviços de coleta de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) se tornam um importante elo entre o gerador do resíduo e os recicladores e remanufaturadores.

A Gestão de Resíduos Sólidos dentro de centros urbanos enfrenta diversos desafios com relação à coleta, tratamento e disposição adequada dos resíduos, ainda mais quando se prioriza o gerenciamento sustentável dessas operações (MELARÉ *et al.*, 2017). Serviços de coleta e destinação de RSU são um importante elemento para viabilizar a gestão de resíduos de forma correta e mais sustentável. Para que os efeitos dessa gestão consciente sejam abrangentes, é preciso que sua importância seja entendida pela população, de forma a aumentar os participantes dessa cadeia e reduzir o volume de material disposto em aterros sanitários. Além disso, para que a gestão de resíduos seja capaz de abordar todo o ciclo de vida dos produtos, de forma a seguir as premissas da Economia Circular, são necessárias sinergias industriais em redes de larga escala para coletar, reciclar, reutilizar e recuperar os produtos em fim de vida. A cadeia de suprimentos de um ciclo fechado inclui os fornecedores, indústrias, centros de distribuição, varejo, centros de coleta, usinas de reciclagem e centros de descarte (ACCORSI *et al.*, 2015). Por isso, apenas a disponibilidade

de tecnologia ou ferramenta de reciclagem não garante que o gerenciamento dos resíduos será realizado da maneira adequada. A participação de todos os envolvidos é essencial para alcançar soluções realmente sustentáveis (JOSEPH, 2006).

O papel dos consumidores também envolvidos nessa cadeia é muito importante, pois podem regular ou mobilizar a opinião pública sobre práticas ambientais de empresas e governos, e influenciar ativamente a implementação de iniciativas sustentáveis (SARKIS *et al.*, 2010; MEIXELL & LUOMA, 2015). É pouco provável que as organizações implementem práticas de sustentabilidade sem que haja pressões externas (MEIXELL & LUOMA, 2015). Os consumidores são também geradores de resíduos sólidos e, por isso, desempenham uma função essencial dentro da gestão de RSU (SAPHORES & NIXON, 2014). Neste caso, sua atuação no armazenamento e coleta de resíduos, reciclagem, reutilização e descarte é fundamental, tanto como expressão da responsabilidade individual quanto como forma de ação coletiva (JOSEPH, 2006).

A Economia Circular defende que, para alcançar a máxima eficiência na gestão de resíduos, suas diferentes frações devem ser segregadas na fonte para que sejam coletadas separadamente (SINGH & ORDOÑEZ, 2016), sendo esta reponsabilidade dos geradores de resíduos. Zhang *et al.* (2019) indicam que quando há falta de educação ambiental e cultura de proteção ambiental, o público não se importa muito com a gestão de resíduos. Por isso, há uma necessidade urgente de priorizar a proteção ambiental e educar e capacitar as comunidades locais para monitorar seu próprio ambiente e gerenciar seus resíduos da melhor maneira possível (JOSEPH, 2006).

Com relação à separação de resíduos, os comportamentos adotados para viabilizar a reciclagem parecem depender de conveniência (ou facilidade de separação), preço, conscientização e preocupação ambiental (MIAFODZYEVA & BRANDT, 2013; KO *et al.*, 2020; SAPHORES & NIXON, 2014). Pode-se então depreender que serviços de coleta e separação de resíduos devem ser acessíveis e amplamente aceitos pelo público. Também, a estratégia para incentivar a adequada separação deve se basear na criação de uma imagem social da

reciclagem como atividade útil, agradável e importante e que a implementação deve ser acompanhada de publicidade e promoção suficientes para educar os participantes (MIAFODZYEVA & BRANDT, 2013; KO *et al.*, 2020; SAPHORES & NIXON, 2014). De acordo com Ko *et al.* (2020), o reconhecimento de que o sistema em que a pessoa descarta seus resíduos é útil para o meio ambiente, é diretamente proporcional a uma maior disposição a pagar. Dessa forma, pode-se viabilizar um importante elo para a circularidade dos materiais: o serviço de coleta, que transporta os resíduos dos geradores até os locais de triagem e o armazenamento.

No Brasil, o gerenciamento de resíduos sólidos é regulamentado pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), que define como geradores de resíduos sólidos “as pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, que geram resíduos sólidos por meio de suas atividades, nelas incluído o consumo” (BRASIL, 2010). Sendo assim, as empresas também têm diversas responsabilidades em relação à gestão de seus resíduos. No Reino Unido diversas empresas citaram “falta de conhecimento” como um dos maiores obstáculos para melhorias ambientais (PIMENOVA & VAN DER VORST, 2004). Por isso, treinamentos adicionais em tópicos gerais de conscientização podem ser o incentivo necessário para empresas menores e com menos recursos se engajarem em práticas sustentáveis (PIMENOVA & VAN DER VORST, 2004; SARKIS *et al.*, 2010). Além disso, a responsabilidade social também é um importante estímulo para adoção de práticas sustentáveis, pois seu principal benefício é a melhoria de imagem da empresa (PIMENOVA & VAN DER VORST, 2004).

As motivações dos geradores para engajarem-se em iniciativas sustentáveis podem ser avaliadas de diversas formas. Uma delas é o entendimento do valor percebido pelo cliente, que é o resultado da avaliação dos benefícios e sacrifícios associados a um serviço (YUEN *et al.*, 2018). De acordo com Hänninen & Karjaluoto (2017), Zeithaml (1988) introduziu o conceito de Valor Percebido pelo Cliente, definido como “avaliação geral do consumidor da utilidade de um produto com base nas percepções do que é recebido e do que é dado”. Esse valor se baseia na percepção individual de cada cliente, ou seja, o mesmo serviço pode ser

avaliado com diferentes níveis de qualidade por diferentes clientes (ITANI *et al.*, 2019). O valor percebido influencia tanto a decisão de compra, quanto a satisfação do cliente após a aquisição (PARASURAMAN & GREWAL, 2000).

Diversos autores avaliam o Valor Percebido pelo Cliente em serviços sustentáveis. Hänninen & Karjaluoto (2017) apontam que a imagem ambiental de um fornecedor pode melhorar sua vantagem competitiva, pois influencia o Valor Percebido pelo Cliente. Yuen *et al.* (2018) também afirma que práticas de transporte sustentável têm influência positiva no valor percebido. O valor percebido pelo cliente ainda é uma forma de evitar armadilhas como, por exemplo, serviços que têm efeitos positivos no meio ambiente, mas com valor percebido insuficiente para superar a concorrência no mercado (SCHEEPENS, *et al.*, 2016).

Considerando o contexto explicitado, este artigo tem como objetivo analisar o valor percebido pelo cliente e os fatores considerados mais importantes em um serviço de gestão de resíduos que visa o reaproveitamento de materiais. Dessa forma, busca-se explorar as possíveis motivações para contratação do serviço, considerado um elo essencial em uma cadeia de suprimentos em ciclo fechado. O estudo de caso foi realizado em uma empresa que executa a Gestão de RSU em estabelecimentos comerciais no município de Porto Alegre, no Rio Grande do Sul. Através de entrevistas individuais com contratantes do serviço, o método *Analytical Hierarchy Process* (AHP) possibilita ordenar os valores percebidos do serviço em ordem de importância.

4.2. Metodologia

A metodologia que estruturou este artigo baseou-se em um estudo de caso. Este tipo de metodologia se destina a responder questões relacionadas a 'como' e 'por que' (YIN, 2001), sendo realizada em uma pesquisa aplicada. Buscou-se entender os fatores mais importantes percebidos pelos clientes em um serviço de gestão de resíduos que visa o reaproveitamento de materiais, ou seja, atende às premissas da Economia Circular. Foram realizadas entrevistas individuais com os atuais contratantes de um serviço de coleta e destinação de resíduos no município de Porto Alegre. E, com o auxílio do método AHP

(*Analytical Hierarchy Process*), buscou-se ordenar valores do serviço em ordem de importância.

4.2.1. Estudo de caso

O estudo foi realizado com clientes de uma empresa que faz gestão de resíduos sólidos em estabelecimentos comerciais de Porto Alegre, no Rio Grande do Sul. Criada em 2018, atende 63 empresas, entre elas restaurantes, bares, escritórios e indústrias de alimentos. O serviço tem como objetivo dar a melhor destinação para os resíduos, evitando a disposição final em aterros sanitários. Dessa forma, a empresa procura viabilizar o atendimento inclusive a pequenos estabelecimentos dentro de centros urbanos, para que também tenham acesso a alternativas mais sustentáveis, fechando o ciclo dos materiais.

O serviço começa com um diagnóstico dos resíduos gerados no estabelecimento dos clientes e prioriza o treinamento dos funcionários de forma a sensibilizá-los e capacitá-los sobre a separação dos resíduos na fonte, bem como sua importância para o restante do processo. Os resíduos são então coletados na frequência desejada e cada fração é destinada visando o maior reaproveitamento dos materiais e os menores impactos ambientais. Os resíduos recicláveis são triados e enviados para reciclagem, enquanto os resíduos orgânicos (restos de comida, podas e guardanapos) são encaminhados para compostagem. Apenas os rejeitos, fração que não pode ser reciclada nem compostada, são destinados a um aterro sanitário licenciado.

Por ser um elo essencial dentro de uma Economia Circular, esse modelo de serviço de coleta de resíduos é muito importante para a gestão de RSU. A empresa atualmente viabiliza o fechamento do ciclo dos resíduos sólidos orgânicos e recicláveis, além de ser uma ferramenta de conscientização da população e de empresas. Para entender o valor percebido pelo cliente e os fatores mais importantes do serviço, foram entrevistados alguns de seus clientes.

4.2.2. Entrevistas

As entrevistas foram realizadas com 20 contratantes do serviço de coleta e destinação de resíduos, entre eles restaurantes, bares, escritórios e indústrias de alimentos. Participaram do estudo estabelecimentos que utilizam o serviço a um período superior a 3 meses, de forma a garantir a total implementação do serviço e percepção mais clara sobre a qualidade. Nas entrevistas individuais foi solicitado aos entrevistados que comparassem o nível de importância dos atributos do serviço prestado. A comparação foi feita sempre em pares, seguindo as prescrições do método *Analytical Hierarchy Process* (AHP), utilizando escala de 1 a 9 (Anexo A). A escala é utilizada para que o entrevistado possa apontar o nível de importância relativa entre cada par de atributo analisado.

4.2.3. Analytical Hierarchy Process (AHP)

O método AHP permite traduzir preferências qualitativas em dados de escala relativa (WEDLEY, 1990). Esse método considera que a tomada de decisões pode ser interpretada através de uma estrutura hierárquica ou como um sistema, com loops de dependência. Assim, compara os critérios um a um, de forma a produzir uma escala relativa, organizando os critérios em ordem de prioridade para tomada de decisão (SAATY, 1987). Utilizou-se escala linear de 1 a 9, apontando para os participantes o significado de cada nota (Anexo A). Dessa forma, os entrevistados indicaram quanto um atributo é mais importante em relação a outro, comparando sempre dois atributos do serviço (HUANG *et al.*, 2011). Esse procedimento é repetido de forma que todos os atributos sejam comparados uns com os outros. Assim, ao final da aplicação do método, pode-se avaliar o nível de inconsistência das respostas do entrevistado, limitado por alpha, nesse caso 0,1.

4.2.4. SERV-PERVAL

Para avaliar o valor percebido em serviços foi utilizada a escala SERV-PERVAL (PETRICK, 2002). Ela consiste em cinco dimensões inter-relacionadas, mas únicas: qualidade, resposta emocional, preço monetário, preço comportamental e reputação e mensura o valor

percebido após a aquisição e prestação do serviço. Os atributos a serem comparados foram definidos em conjunto com a empresa prestadora de serviço. Com base na escala SERV-PERVAL foram definidos então 10 atributos do serviço a serem ordenados através do método AHP (Quadro 2).

Quadro 2 Critérios, descrição e dimensão relativa da escala SERV-PERVAL

Critério	Descrição	Dimensão SERV-PERVAL
Qualidade do serviço de coleta	Serviço de coleta, pontualidade, confiabilidade, apresentação funcionários	Qualidade
Facilidade de implementação	Separação dos resíduos, interrupção da forma como faziam antes, identificação e organização	Preço comportamental
Sensibilização, capacitação e infraestrutura	Treinamento da equipe e Identificação das lixeiras	Resposta Emocional
Benefício social	Geração de benefício social	Resposta Emocional
Evitar aterro sanitário	Evitar a destinação para aterro sanitário, priorizando compostagem e reciclagem, e outras formas de reaproveitamento	Resposta Emocional
Documentação de destino	Documentação comprobatória da correta destinação dos resíduos	Qualidade
Medição dos Indicadores	Mensuração e divulgação dos resultados	Qualidade
Preço	Valor da mensalidade	Preço Monetário
Qualidade de relacionamento	Relação próxima com a prestadora de serviço e facilidade de comunicação	Qualidade
Posicionamento de marca	Imagem da empresa contratante como ambientalmente responsável	Reputação

4.2.5. Análises dos resultados

As entrevistas e as análises dos resultados da aplicação do método AHP foram realizadas com o uso do Template do Excel da *Business Performance Management Singapore* (GOPEL, 2018; GOPEL, 2013).

4.3. Resultados

As entrevistas foram realizadas em maio de 2019, em visitas presenciais aos estabelecimentos. As comparações do método AHP foram gravadas, e os resultados apontados foram inseridos no Template do Excel (GOPEL, 2018). Foram utilizadas nas análises as informações apontadas pelos 20 entrevistados.

4.3.1. Entrevistados

Participaram da entrevista majoritariamente os tomadores de decisão em relação à gestão de resíduos de cada estabelecimento. No Quadro 3 são apontados os tipos de estabelecimento e o entrevistado de cada um, além da faixa etária e do público predominante do local. As informações foram adquiridas durante as entrevistas, com base na percepção do entrevistado. Nesse caso, não foram padronizados o tipo de público e as faixas-etárias.

Quadro 3 Descrição dos estabelecimentos, representante entrevistado e público

	Tipo de estabelecimento	Entrevistado	Público
1	Restaurante	Sócio	Adulto
2	Restaurante	Supervisores	Jovem
3	Restaurante/café	Sócia	Adulto e feminino
4	Escritório	Compras	Interno
5	Escritório	Supervisor	Interno
6	Escritório	Gestora	Interno
7	Restaurante/bar	Sócio	Jovem
8	Mini Mercado	Sócio	Todas as idades
9	Restaurante	Sócio	Adulto
10	Escritório	Assistente Administrativa	Interno

11	Escritório	Supervisor	Interno + público em geral
12	Escritório/expedição	Assistente infraestrutura	Interno
13	Indústria de alimentos	Supervisor	Interno
14	Restaurante	Supervisoras	Adulto
15	Indústria de alimentos	Sócia	Interno
16	Restaurante/bar	Sócio	Jovem
17	Restaurante	Nutricionista	Adulto
18	Indústria de bebidas	Sócia	Interno
19	Indústria de alimentos	Sócio	Interno
20	Restaurante	Sócia	Adulto

4.3.2. Pesos relativos e ordenamento

Cada um dos entrevistados comparou o nível de importância dos atributos do serviço, sempre em pares, indicando qual dos dois atributos considera o mais importante, e o grau de importância relativa (Anexo A). Com essas informações, o método atribui um peso relativo para cada atributo, para cada participante. O resultado do peso relativo dos atributos para cada um dos entrevistados é mostrado no Quadro 4.

Dos 20 entrevistados, 15 elencaram ‘evitar aterro sanitário’ como um dos três atributos mais importantes do serviço, enquanto 8 apontaram que esse é o atributo mais importante. Em seguida, ‘geração de benefício social’ ficou entre os três atributos mais importantes em 12 entrevistas, das quais 4 o indicaram como o principal. A ‘qualidade do serviço de coleta’ ficou entre os três principais atributos em 9 das entrevistas. Em 3 delas esse foi o atributo mais importante.

O atributo que ficou mais abaixo na escala de importância foi ‘Preço’, que apareceu 10 vezes entre os últimos três colocados. ‘Facilidade de Implementação’, ‘Documentação de Destino’ e ‘Medição dos Indicadores’ empataram com 9 ocorrências entre os três últimos atributos em ordem de importância.

Quadro 4 Peso relativo dos atributos para cada um dos entrevistados.

		Qualidade do serviço de coleta (%)	Facilidade de implementação (%)	Sensibilização, capacitação e identificação de lixeiras (%)	Geração de benefício social (%)	Evitar aterro sanitário (%)	Documentação de destino (%)	Medição dos Resultados (%)	Preço (%)	Relação próxima com a empresa coletora e fácil comunicação (%)	Posicionamento de marca (%)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Entrevistas	1	18	3	8	14	10	5	7	5	19	11
	2	5	4	7	17	19	1	10	13	10	15
	3	6	5	2	13	15	6	23	15	6	10
	4	12	5	20	11	13	13	11	2	3	10
	5	4	4	11	16	20	11	4	9	5	17
	6	9	5	21	13	23	3	4	3	11	9
	7	31	10	14	4	14	2	2	8	7	9
	8	7	1	4	4	32	4	13	11	15	9
	9	8	4	5	22	18	9	7	5	8	15
	10	3	6	7	27	20	9	11	4	9	6
	11	14	22	10	12	12	8	8	6	5	4
	12	17	6	16	12	21	4	3	8	12	2
	13	21	7	6	14	28	10	3	2	4	5
	14	18	23	14	5	8	4	5	9	7	6
	15	4	3	4	27	22	4	8	2	11	16
	16	23	6	2	12	20	11	9	8	4	6
	17	16	6	6	12	17	13	6	6	10	9
	18	16	13	10	10	9	3	4	16	11	7
	19	15	6	16	28	8	2	2	4	6	15
	20	9	12	2	20	21	6	3	17	8	2

O resultado final consolidado das 20 entrevistas resultou na ordem de importância apontada na Tabela 3, assim como as médias dos pesos relativos de cada atributo, também apresentadas na Figura 5. Este resultado apresentou 67,1% de consenso entre os entrevistados que, de acordo com Goepel (2013), representa um consenso moderado entre os participantes. Como pode-se verificar na Figura 5, os três primeiros colocados têm pesos relativos mais distintos com relação ao restante.

Tabela 3 Resultado da análise com todos os entrevistados

Ranking	Peso relativo (%)	Atributo
1	19,2	Evitar aterro sanitário
2	15,4	Geração de benefício social
3	12,3	Qualidade do serviço de coleta
4	9,3	Posicionamento de marca
5	8,9	Relação próxima com a empresa
6	8,3	Sensibilização, capacitação e identificação de lixeiras
7	7,2	Preço
8	6,7	Medição dos Resultados
9	6,6	Facilidade de implementação
10	6,2	Documentação de destino

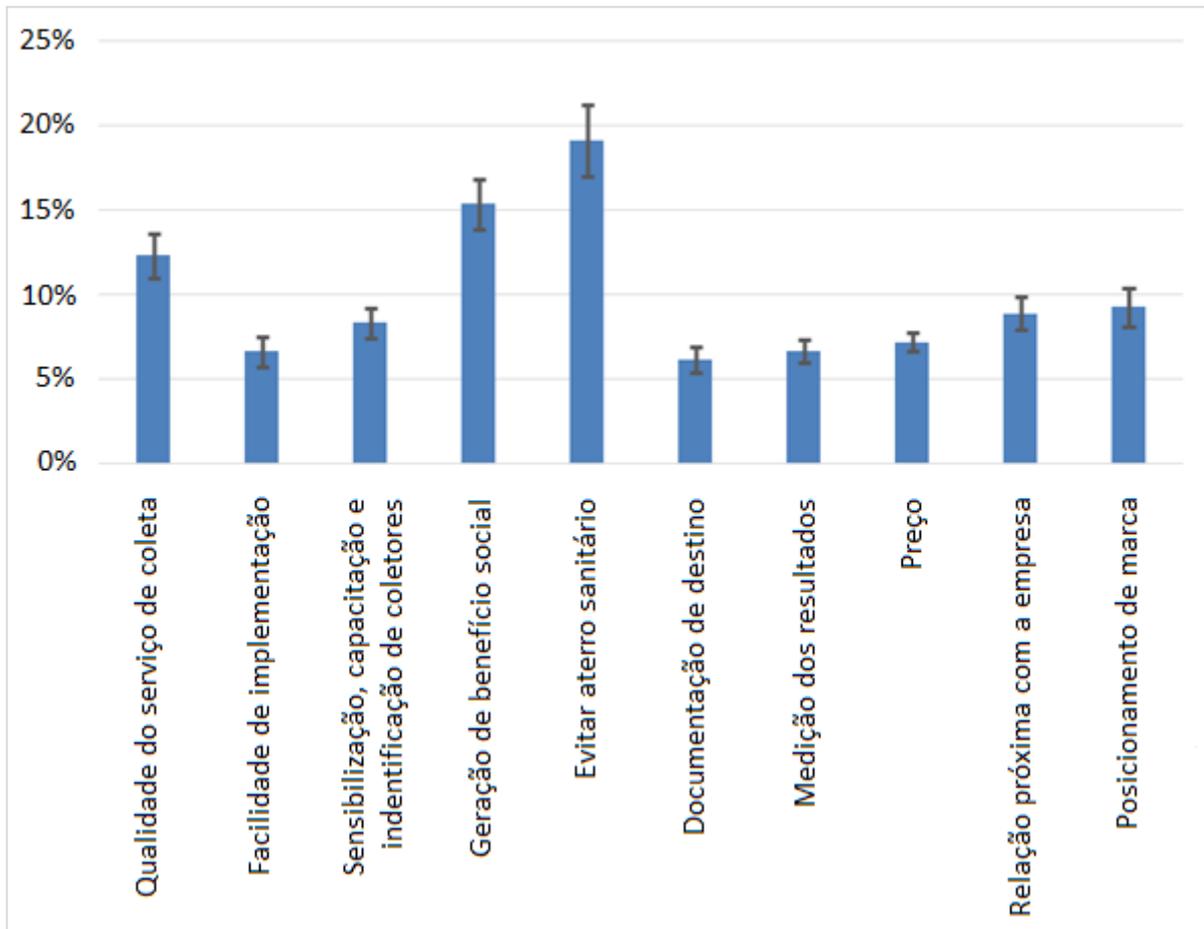


Figura 5 Peso relativo médio e seus desvios de cada atributo analisado

A análise foi também realizada utilizando somente os dados de estabelecimentos do ramo de alimentação, buscando maior consenso no resultado, visto que os escritórios têm o perfil de geração de resíduos mais discrepante dos outros estabelecimentos. Assim, foram removidos os dados relativos aos escritórios, realizando então as análises com as respostas dos 14 respondentes do ramo de alimentação. O consenso encontrado foi de 72,7%, que ainda é considerado moderado de acordo com Goepel (2013). Porém, mais próximo de um consenso alto, considerado a partir de 75%. A Tabela 4, apresenta o ranking resultante dessa análise, assim como os pesos relativos de cada atributo. Neste caso, até o sexto colocado a ordem dos atributos foi a mesma nas duas análises, a partir de então observou-se mudanças. A documentação de destino se manteve em último lugar, enquanto o preço se mostrou um atributo mais importante quando analisado somente o ramo de alimentação. A

medição dos resultados, sensibilização da equipe e facilidade de implementação ficaram praticamente iguais.

Tabela 4 Resultado da análise com entrevistas selecionadas

Ranking	Peso relativo (%)	Atributo
1	15,8	Evitar aterro sanitário
2	13,3	Geração de benefício social
3	12,8	Qualidade do serviço de coleta
4	10,1	Posicionamento de marca
5	9,8	Relação próxima com a empresa coletora
6	8,8	Preço
7	7,6	Medição dos Resultados
8	7,5	Sensibilização, capacitação e identificação de lixeiras
9	7,5	Facilidade de implementação
10	6,6	Documentação de destino

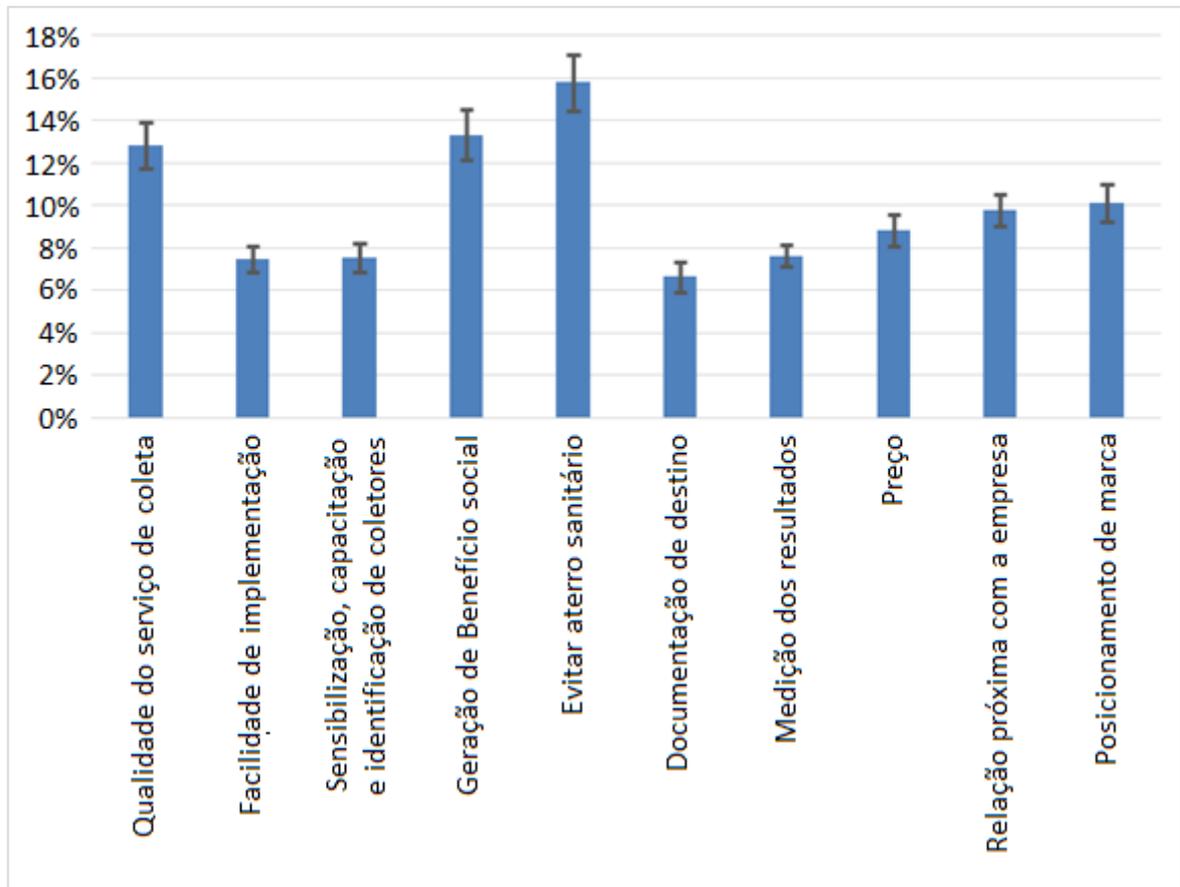


Figura 6 Peso relativo médio e seus desvios de cada atributo analisado

4.4. Discussão

Os atributos ‘Evitar aterro sanitário’, ‘Geração de benefício social’ e ‘Qualidade do serviço de coleta’ foram apontados como os mais importantes do serviço de coleta de resíduos que se propõe a fechar o ciclo dos materiais. É razoável que, portanto, ‘evitar aterro sanitário’ tenha se revelado o atributo mais importante. Também pode-se entender que a grande maioria dos contratantes esteja bem conscientizado da importância desse atributo, que parece ser o maior diferencial do serviço de coleta e destinação.

Principalmente no Brasil, a problemática de resíduos sólidos está muito interligada com questões sociais. Não foi surpreendente que a 'Geração de Benefício Social' tenha se mostrado tão relevante para a contratação, de acordo com os entrevistados.

A 'Qualidade do Serviço de Coleta' parece ser um atributo muito relativo à realidade de cada estabelecimento, e ao tamanho do problema que enfrentam com a gestão de resíduos. Locais com espaço apropriado para armazenamento de resíduos ou baixa geração parecem relevar aspectos como pontualidade e confiabilidade do serviço, que representam grande parte da qualidade. Estabelecimentos com muita geração de resíduos e pouco espaço de armazenamento priorizam este atributo, pois a oscilação da qualidade do serviço de coleta pode afetar fortemente a sua operação. Ainda assim, a 'Qualidade do Serviço de Coleta' resultou em peso relativo médio de 12,3% na análise geral e 12,8% no ramo de alimentação.

Os resultados também apontaram que 'Posicionamento da Marca' é um atributo importante para a contratação do serviço, com peso médio de 9,3%, ficando em quarto colocado em ordem de importância para contratação. O estudo de Parsa *et al.* (2015) revelou que consumidores geralmente concordam que restaurantes deveriam se comprometer com iniciativas de responsabilidade social corporativa, mas eles raramente sabem o quanto os restaurantes frequentados realmente se preocupam com essas questões. Sendo assim, existe uma preocupação dos estabelecimentos em informar os clientes de suas ações, de forma a se posicionar no mercado como uma empresa consciente.

Contrariando o estudo de Miafodzyeva & Brandt (2013), que aponta que preço e conveniência são os principais fatores que impedem a população de se engajar em comportamentos que viabilizem a reciclagem, 'Facilidade de Implementação' teve peso relativo de apenas 6,6% na análise geral, ficando em 9º na ordem de prioridades e 'Preço' ficou em 7º com 7,2%. Vale ressaltar que os entrevistados representam estabelecimentos comerciais que já contratam o serviço. Portanto, são locais que optaram por investir em

gestão de resíduos e que estavam cientes sobre a necessidade de segregação de resíduos na fonte para viabilizar a destinação correta de cada fração.

Pode-se perceber também que nem todos os estabelecimentos reconhecem a importância da etapa de 'Sensibilização, Capacitação e Identificação de Coletores', que ficou em 6º colocado com peso relativo de 8,3% na análise geral e em 8º com peso relativo de 7,5% na análise do ramo de alimentação. É possível que o público entrevistado já identifique a importância de uma gestão de resíduos mais sustentável, que viabilize a Economia Circular, e por isso esse atributo não pareça tão essencial. Mas também se ressalta que os quatro estabelecimentos que atribuíram peso relativo maior de 15% para esse atributo utilizam o serviço apenas para público interno. Pode-se entender que nesses casos, a contratação do serviço é influenciada também pelo impacto nos funcionários, ou pela intenção do gestor de sensibilizar a equipe.

A 'Documentação de Destino' e 'Medição dos Resultados' podem ser consideradas formas de reconhecimento de que o sistema em que os geradores de resíduos dos estabelecimentos descartam seus resíduos é realmente útil e tem consequências positivas na gestão de resíduos. A importância desse sentimento é apontada por Ko *et al.* (2020), mas não foi verificada no presente estudo. Ou, ainda é possível que exista confiança na empresa prestadora de serviços e seus profissionais, e que isso já seja o suficiente para engajamento das equipes. A posição de 'Documentação de Destino', que ficou em último lugar em ambas as análises, também pode ser explicada pela falta de exigência legal desse quesito em pequenos estabelecimentos do município e que por isso os estabelecimentos ainda não demandam documentações desse tipo.

O estudo indica também que os contratantes não parecem considerar as mudanças para a correta segregação de resíduos como um transtorno, ou não parecem se importar em realizar essas mudanças, já que apontam a 'facilidade de implementação' como um dos atributos menos importantes de um serviço de coleta e destinação de resíduos.

4.4.1. Limitações da pesquisa

Deve-se observar que a pesquisa foi realizada com estabelecimentos que já contratam o serviço e, por isso, não aborda os pontos que impedem outros locais de contratarem. O número de atributos utilizado no método AHP ficou elevado e conseqüentemente a etapa de comparações ficou longa, aumentando a confusão dos entrevistados e provavelmente impactando o nível de inconsistências. Os locais entrevistados também são muito diferentes, em tamanho, operação, comportamento e geração de resíduos, o que resultou em um consenso relativamente baixo. Também analisou-se uma amostra pequena de 20 entrevistados, dificultando a separação em grupos que pudessem apresentar maior consenso no ordenamento dos atributos. A qualidade da segregação de resíduos realizada por cada estabelecimento também não foi contemplada nesse estudo.

4.5. Conclusão

A empresa foi estudada como um exemplo de iniciativa que viabiliza algumas premissas da Economia Circular. O serviço possibilita que estabelecimentos pequenos, e em áreas urbanas, possam destinar seus resíduos da melhor forma. A empresa encaminha os resíduos orgânicos para compostagem, os recicláveis para triagem e reciclagem, e apenas o rejeito para aterros sanitários. Para viabilizar essa destinação, é necessário que os resíduos sejam segregados corretamente na fonte.

Dentro do cenário de gestão de resíduos em centros urbanos, a coleta de resíduos representa um elo importante, pois pode garantir a correta destinação dos resíduos e engajamento dos geradores. Por isso, buscou-se entender quais os atributos mais importantes que o serviço oferece e o valor percebido pelos clientes. Para tanto, foram entrevistados os responsáveis por 20 estabelecimentos que já contratam a empresa em Porto Alegre. Utilizando método AHP, os valores do serviço foram ordenados de acordo com o seu nível de importância.

O diferencial de destinação dos resíduos foi considerado o atributo mais importante, apontando que 'Evitar Aterro Sanitário' é um fator relevante para os clientes. Isso também pode significar que o público entrevistado é consciente em relação à problemática da gestão de resíduos sólidos urbanos. 'Geração de Benefício Social' e 'Qualidade do Serviço de Coleta' também ficaram entre as primeiras posições na ordem de importância, com distância expressiva dos outros atributos.

Os atributos que aparentemente têm menor impacto no valor percebido pelo cliente são a 'Documentação de Destino', a 'Medição dos Resultados', a 'Facilidade de Implementação'. Os resultados apontam que os estabelecimentos contratantes do serviço têm um sólido propósito ambiental e que por isso se mostram dispostos a adequar suas operações para garantir a correta destinação dos resíduos. Além disso, eles também parecem ainda não demandar comprovações e acompanhamentos da sua gestão de resíduos. Isso pode ser reflexo de que a fiscalização ambiental ocorre majoritariamente em empresas maiores, enquanto os contratantes do serviço são majoritariamente pequenas empresas dentro de centros urbanos.

O estudo aponta que o valor percebido pelos clientes está alinhado com os aspectos importantes para viabilizar premissas da Economia Circular. Com base nisso, pode-se supor que o fechamento de ciclo e a execução bem sucedida do elo entre geradores e a garantia de reaproveitamento dos resíduos seja uma das maiores motivações para contratação do serviço. Sendo assim, a contratação do serviço parece estar associada a um nível elevado de consciência ambiental. Por isso, iniciativas de educação e conscientização ambiental podem ser essenciais para disseminação de serviços que viabilizam a Economia Circular.

4.6. Referências

- ACCORSI, Riccardo *et al.* On the design of closed-loop networks for product life cycle management: Economic, environmental and geography considerations. **Journal of Transport Geography**, v. 48, p. 121–134, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2015.09.005>>. Acesso em: 2 nov. 2018.
- AKÇALI, E.; ÇETINKAYA, S.; ÜSTER, H. Deception Tactics for Network Interdiction: A Multiobjective Approach. **Networks**, v. 60, n. 1, p. 45–58, 2009.
- BRASIL. LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos, Brasília, 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: dez. 2019.
- Ellen MacArthur Foundation. Towards the Circular Economy – Economic and business rationale for an accelerated transition. Vol. 1. Reino Unido: 2013. Disponível em: <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an-accelerated-transition>>. Acesso em: 2 nov. 2018.
- DESELNICU, Dana Corina, *et al.* "Towards a Circular Economy—A Zero Waste Programme for Europe." International Conference on Advanced Materials and Systems (ICAMS). The National Research & Development Institute for Textiles and Leather-INCDTP, 2018.
- GEISSDOERFER, Martin *et al.* Business models and supply chains for the circular economy. **Journal of Cleaner Production**, v. 190, p. 712–721, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.159>
- GHISELLINI, Patrizia; CIALANI, Catia; ULGIATI, Sergio. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 114, p. 11–32, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615012287>>. Acesso em: 10 jul. 2018.
- GILBERT, P. *et al.* The role of material efficiency to reduce CO2 emissions during ship manufacture: A life cycle approach. **Marine Policy**, v. 75, p. 227–237, 2017. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308597X1630077X>>. Acesso em: 2 nov. 2018.
- GOPEL, Klaus D. AHP Excel Template with multiple Inputs, Business Performance Management Singapore. Disponível em: <<https://bpmsg.com>>. Acesso em 10 abr. 2019.
- GOPEL, Klaus D. Implementing the Analytic Hierarchy Process as a Standard Method for MultiCriteria Decision Making In Corporate Enterprises – A New AHP Excel Template with Multiple Inputs, Proceedings of the International Symposium on the Analytic Hierarchy Process. Kuala Lumpur, Malaysia, 2013.
- HÄNNINEN, Nora; KARJALUOTO, Heikki. Environmental values and customer-perceived value in industrial supplier relationships. **Journal of Cleaner Production**, v. 156, p. 604–613, 2017.

Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617307990>>. Acesso em: 19 fev. 2020.

HUANG, Ivy B.; KEISLER, Jeffrey; LINKOV, Igor. Science of the Total Environment Multi-criteria decision analysis in environmental sciences : Ten years of applications and trends. **Science of the Total Environment**, v. 409, n. 19, p. 3578–3594, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.06.022>>

ITANI, Omar S.; KASSAR, Abdul-Nasser; LOUREIRO, Sandra Maria Correia. Value get, value give: The relationships among perceived value, relationship quality, customer engagement, and value consciousness. **International Journal of Hospitality Management**, v. 80, p. 78–90, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S027843191830269X>>. Acesso em: 6 fev. 2020.

JOSEPH, Kurian. Stakeholder participation for sustainable waste management. **Habitat International**, v. 30, n. 4, p. 863–871, 2006. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0197397505000524>>. Acesso em: 6 fev. 2020.

KO, Sungmin *et al.* The economic value of sustainable recycling and waste management policies: The case of a waste management crisis in South Korea. **Waste Management**, v. 104, p. 220–227, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X20300209>>. Acesso em: 7 fev. 2020.

LIEDER, Michael; RASHID, Amir. Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 115, p. 36–51, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615018661>>. Acesso em: 10 jul. 2018.

LONCA, Geoffrey *et al.* Does material circularity rhyme with environmental efficiency? Case studies on used tires. **Journal of Cleaner Production**, v. 183, p. 424–435, 2018. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652618304189>>. Acesso em: 2 nov. 2018.

MEIXELL, Mary J.; LUOMA, Patrice. Stakeholder pressure in sustainable supply chain management A systematic review. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 45, n. 1, p. 69–89, 2015.

MELARÉ, Angelina Vitorino de Souza *et al.* Technologies and decision support systems to aid solid-waste management: a systematic review. **Waste Management**, v. 59, p. 567–584, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X16306171>>. Acesso em: 14 fev. 2020.

MERLI, Roberto; PREZIOSI, Michele; ACAMPORA, Alessia. How do scholars approach the circular economy? A systematic literature review. **Journal of Cleaner Production**, v. 178, p. 703–722, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617330718>>. Acesso em: 16 jul. 2018.

MIAFODZYEVA, S.; BRANDT, N. Recycling behaviour among householders: Synthesizing determinants via a meta-analysis. **Waste and Biomass Valorization**, v. 4, n. 2, p. 221–235, 2013.

PARASURAMAN, A.; GREWAL, Dhruv. The Impact of Technology on the Quality-Value-Loyalty Chain : A Research Agenda. **Journal of the Academy of Marketing Science**, v. 28, n. 1, p. 168–174, 2000.

PARK, Joo Young; CHERTOW, Marian R. Establishing and testing the “reuse potential” indicator for managing wastes as resources. **Journal of Environmental Management**, v. 137, p. 45–53, 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479714000887?via%3Dihub>>. Acesso em: 11 dez. 2019.

PARSA, H. G. *et al.* Corporate social and environmental responsibility in services: Will consumers pay for it? **Journal of Retailing and Consumer Services**, v. 22, p. 250–260, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jretconser.2014.08.006>>

PETRICK, James F. Development of a Multi-Dimensional Scale for Measuring the Perceived Value of a Service. **Journal of Leisure Research Copyright**, v. 34, n. 2, p. 119–134, 2002. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/action/journalInformation?journalCode=ujlr20>>. Acesso em: 4 maio. 2019.

PIMENOVA, Polina; VAN DER VORST, Rita. The role of support programmes and policies in improving SMEs environmental performance in developed and transition economies. **Journal of Cleaner Production**, v. 12, n. 6, p. 549–559, 2004. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652603001550?via%3Dihub>>. Acesso em: 6 fev. 2020.

SAATY, R. W. The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. **Mathematical Modelling**, v. 9, p. 161-176, 1987. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0270025587904738>>. Acesso em 20 mai. 2019.

SAPHORES, Jean-Daniel M.; NIXON, Hilary. How effective are current household recycling policies? Results from a national survey of U.S. households. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 92, p. 1–10, 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344914001797?via%3Dihub>>. Acesso em: 7 fev. 2020.

SARKIS, Joseph; GONZALEZ-TORRE, Pilar; ADENSO-DIAZ, Belarmino. Stakeholder pressure and the adoption of environmental practices: The mediating effect of training. **Journal of Operations Management**, v. 28, n. 2, p. 163–176, 2010. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272696309000709>>. Acesso em: 6 fev. 2020.

SCHEEPENS, A. E.; VOGTLÄNDER, J. G.; BREZET, J. C. Two life cycle assessment (LCA) based methods to analyse and design complex (regional) circular economy systems. Case: making water tourism more sustainable. **Journal of Cleaner Production**, v. 114, p. 257–268, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615006332>>. Acesso em: 19 fev. 2020.

SINGH, Jagdeep; ORDOÑEZ, Isabel. Resource recovery from post-consumer waste: important lessons for the upcoming circular economy. **Journal of Cleaner Production**, v. 134, p. 342–353, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615018442>>. Acesso em: 14 jan. 2020.

WEDLEY, William C. Combining qualitative and quantitative factors—an analytic hierarchy approach. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 24, p. 57-64, 1990. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0038012190900286>>. Acesso em: 25 jul. 2019.

Yin, Robert K. Estudo de caso: planejamento e métodos | Robert K. Yin; trad. Daniel Grassi-2.ed.- Porto Alegre: Bookman, 2001

YUEN, Kum Fai et al. The effect of sustainable shipping practices on shippers' loyalty: The mediating role of perceived value, trust and transaction cost. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, v. 116, p. 123–135, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1366554518303417>>. Acesso em: 19 fev. 2020.

ZEITHAML, Valarie A. Consumer Perceptions of Price, Quality. **Journal of Marketing**, v. 52, n. 3, p. 2–22, 1988.

ZHANG, Abraham *et al.* Barriers to smart waste management for a circular economy in China. **Journal of Cleaner Production**, p. 118198, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619330689>>. Acesso em: 28 ago. 2019.

4.7. Anexo A

Escala de comparação pareada 1-9 do método AHP

Intensidade de Importância	Definição	Explicação
1	Importância igual	Os dois fatores contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância moderada	Um fator é ligeiramente mais importante que o outro
5	Importância essencial	Um fator é claramente mais importante que o outro
7	Importância demonstrada	Um fator é fortemente favorecido e sua maior relevância foi demonstrada na prática
9	Importância extrema	A evidência que diferencia os fatores é da maior ordem possível.
2,4,6,8	Valores intermediários entre julgamentos	Possibilidade de compromissos adicionais

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A dissertação foi desenvolvida com base na metodologia de estudo de caso e suas diversas etapas, organizadas na forma de três artigos. Apresenta-se neste capítulo as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

5.1. Conclusões

Os artigos que compõe essa dissertação buscaram investigar de diferentes formas a Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos sob a ótica da Economia Circular. As questões de pesquisa foram abordadas através de diferentes metodologias e pontos de vista, permeando todo o estudo.

A primeira questão de pesquisa ‘Quais as barreiras encontradas em iniciativas que visam a circularidade de produtos e materiais, como o vidro por exemplo?’, foi analisada nos primeiros dois artigos, de diferentes formas. Através da Revisão Sistemática da Literatura, pode-se perceber que a transição para a Economia Circular é desafiadora e a estrutura dos sistemas produtivos ainda é prevalentemente linear. No estudo foram identificadas barreiras técnicas, ambientais, econômicas, comportamentais e mercadológicas, além das lacunas de definições, indicadores e outros estudos para a implementação bem-sucedida de uma Economia Circular. Destaca-se também que a implementação em larga escala dos conceitos da Economia Circular exige o comprometimento de todos os setores, o que aumenta o desafio dessa transição.

O estudo sobre o ciclo reverso do vidro no Brasil buscou identificar as barreiras específicas para a circularidade dentro da Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos, e corrobora alguns resultados do primeiro artigo. Ambos os estudos apontam que a qualidade dos materiais pós-consumo e seus contaminantes podem ser barreiras importantes, visto que a reciclagem de alta qualidade só pode ocorrer quando os materiais não estão contaminados. No caso do vidro, verificou-se inclusive a necessidade de uma etapa complementar de beneficiamento para remoção de impurezas, de forma a viabilizar o processamento dos

cados pós-consumo. Esse exemplo ilustra também outra dificuldade identificada nos dois estudos, que trata da diversidade de setores que devem se engajar para que as premissas da Economia Circular sejam atendidas e apresentem resultados significativos. Para viabilizar a reciclagem de um material, por exemplo, a existência de tecnologia capaz de processá-lo não é suficiente. Instalações para coletar, classificar e reprocessar o material também são indispensáveis. Além disso, a dispersão das redes de abastecimento é um fator limitante, porque os custos de transporte podem inviabilizar a circularidade dos materiais. A importância de cada setor dentro de cadeias de suprimentos em ciclo fechado é grande, e a sinergia entre eles também é essencial. Por isso, os serviços de coleta de resíduos, que podem ser uma forma de ligação entre geradores e indústria de reprocessamento, tem um papel essencial dentro de um sistema fechado.

A segunda questão de pesquisa busca entender formas de viabilizar a Economia Circular e se baseia no estudo de caso de uma empresa que realiza a coleta e destinação de resíduos de estabelecimentos comerciais priorizando seu reaproveitamento. Para entender como disseminar iniciativas que viabilizam a Economia Circular dentro de centros urbanos, busca-se investigar 'Quais os atributos mais valorizados em serviços que viabilizam a Economia Circular no setor de gestão de resíduos?'. Os contratantes do serviço parecem entender que evitar a disposição final dos resíduos é o atributo mais importante do serviço, indicando que os entrevistados possuem elevado senso de responsabilidade ambiental. O estudo indica também que os contratantes não parecem considerar as mudanças para a correta segregação de resíduos como um transtorno, ou não parecem se importar em realizar essas mudanças, já que apontam a 'facilidade de implementação' como um dos atributos menos importantes de um serviço de coleta e destinação de resíduos. Já o fator 'preço' obteve níveis intermediários de importância. Isso pode indicar que os contratantes concordam em pagar pela prestação desse serviço, desde que seus valores não sejam impeditivos. De qualquer forma, consciência ambiental parece ser um fator importante para contratação do serviço, por isso iniciativas de educação e conscientização ambiental são muito importantes para disseminação de serviços que viabilizam a Economia Circular.

5.2. Sugestões para trabalhos futuros

Trabalhos futuros podem ser desenvolvidos como extensões da pesquisa aqui proposta. Por exemplo:

- a) Investigar o ciclo reverso de outros materiais e comparar as diferenças entre eles, incluindo o ponto de vista de intermediários desse processo. Abordar também formas de quantificar a circularidade deles. Existem fatores que facilitam a circularidade de um material em detrimento de outro? Qual a influência do mercado de matéria prima virgem em um cenário de transição a uma Economia Circular, levando em consideração as relações de oferta e demanda e suas consequências?
- b) Estudar também o posicionamento de estabelecimentos que não contratam um serviço de coleta que viabiliza a Economia Circular de forma a investigar os pontos impeditivos da disseminação dessas iniciativas; Analisar também a qualidade de separação de resíduos dos contratantes.
- c) Desenvolver formas de sensibilizar a população quanto ao seu papel dentro da Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos e avaliar as consequências de uma população mais consciente.

6. REFERÊNCIAS

ACCORSI, R. et al. On the design of closed-loop networks for product life cycle management: Economic, environmental and geography considerations. **Journal of Transport Geography**, [s. l.], v. 48, p. 121–134, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2015.09.005>>. Acesso em: 2 nov. 2018.

AKÇALI, E.; ÇETINKAYA, S.; ÜSTER, H. Deception Tactics for Network Interdiction: A Multiobjective Approach. **Networks**, [s. l.], v. 60, n. 1, p. 45–58, 2009.

BAKKER, C. et al. Products that go round: exploring product life extension through design. **Journal of Cleaner Production journal**, [s. l.], v. 69, p. 10–16, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.028>>. Acesso em: 2 nov. 2018.

BIRAT, J.-P. Life-cycle assessment, resource efficiency and recycling. **Metallurgical Research & Technology**, [s. l.], v. 112, n. 2, p. 206, 2015. Disponível em: <<http://www.metallurgical-research.org/10.1051/metal/2015009>>. Acesso em: 18 set. 2018.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. In: **Diário Oficial da União**, Brasília, p. 2, 3 ago. 2010.

Chalmin, P., Gaillochet, C. From Waste to Resource e World Waste Survey, 2009. France, Paris (Economica Editions). Disponível em: <<http://search.oecd.org/env/indicators-modelling-outlooks/Chalmin.pdf>>. Acesso em: fev. 2020.

CIRAIG - International Reference Centre for the Life Cycle of Products, Processes and Services. **Circular Economy: A Critical Literature Review of Concepts**. Montreal: 2015. Disponível em: <http://www.ciraig.org/pdf/CIRAIG_Circular_Economy_Literature_Review_Oct2015.pdf>.

COBO, S.; DOMINGUEZ-RAMOS, A.; IRABIEN, A. From linear to circular integrated waste management systems: A review of methodological approaches. **Resources, Conservation and Recycling**, [s. l.], v. 135, p. 279–295, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344917302422>>. Acesso em: 1 nov. 2018.

COOK, D. J.; MULROW, C. D.; HAYNES, R. B. Synthesis of best evidence for clinical decisions. **Annals of Internal Medicine**, [s. l.], v. 126, p. 376–380, 1997.

Ellen Macarthur Foundation, 2013. The Circular Model e Brief History and School of Thought. Disponível em: <<http://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/circular-economy/the-circular-model-brief-history-and-schools-of-thought>>. Acesso em fevereiro 2020.

Ellen MacArthur Foundation. ***Towards the Circular Economy – Economic and business rationale for an accelerated transition***. Vol. 1. Reino Unido: 2013. Disponível em: <<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an-accelerated-transition>>. Acesso em: 2 nov. 2018.

GEISSDOERFER, M. et al. Business models and supply chains for the circular economy. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 190, p. 712–721, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.159>>

GHISELLINI, P.; CIALANI, C.; ULGIATI, S. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 114, p. 11–32, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615012287?via%3Dihub>>. Acesso em: 25 jun. 2019.

GILBERT, P. et al. The role of material efficiency to reduce CO2 emissions during ship manufacture: A life cycle approach. **Marine Policy**, [s. l.], v. 75, p. 227–237, 2017. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0308597X1630077X>>. Acesso em: 2 nov. 2018.

GIUGLIANO, M. et al. Material and energy recovery in integrated waste management systems. An evaluation based on life cycle assessment. **Waste Management**, [s. l.], v. 31, n. 9–10, p. 2092–2101, 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X11001140?via%3Dihub>>. Acesso em: 30 out. 2019.

KRAUSMANN, F. et al. Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century. **Ecological Economics**, [s. l.], v. 68, n. 10, p. 2696–2705, 2009.

Lett, L.A., 2014. Las amenazas globales, el reciclaje de residuos y el concepto de economía circular. *Riv. Argent. Microbiol.* 46 (1), 1e2.

LIEDER, M.; RASHID, A. Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 115, p. 36–51, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615018661>>. Acesso em: 16 jul. 2018.

LONCA, G. et al. Does material circularity rhyme with environmental efficiency? Case studies on used tires. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 183, p. 424–435, 2018. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652618304189>>. Acesso em: 2 nov. 2018.

MERLI, R.; PREZIOSI, M.; ACAMPORA, A. How do scholars approach the circular economy? A systematic literature review. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 178, p. 703–722, 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652617330718>>. Acesso em: 16 jul. 2018.

Niero, M., Hauschild, M.Z., Hoffmeyer, S.B., Olsen, S.I., 2017. Combining Eco-Efficiency and Eco-Effectiveness for Continuous Loop Beverage Packaging Systems: Lessons from the Carlsberg Circular Community. *J. Ind. Ecol.* 21, 742–753. <https://doi.org/10.1111/jiec.12554>

ORDOÑEZ, I.; RAHE, U. Collaboration between design and waste management: Can it help close the material loop? **Resources, Conservation and Recycling**, [s. l.], v. 72, p. 108–117, 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344913000037>>. Acesso em: 6 fev. 2020.

SAKUNDARINI, N. et al. Incorporation of high recyclability material selection in computer aided design. **Materials & Design (1980-2015)**, [s. l.], v. 56, p. 740–749, 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261306913010765>>. Acesso em: 28 fev. 2020.

SCHEEPENS, A. E.; VOGTLÄNDER, J. G.; BREZET, J. C. Two life cycle assessment (LCA) based methods to analyse and design complex (regional) circular economy systems. Case: making water tourism more sustainable. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 114, p. 257–268, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615006332>>. Acesso em: 10 jul. 2018.

SINGH, J.; ORDOÑEZ, I. Resource recovery from post-consumer waste: important lessons for the upcoming circular economy. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 134, p. 342–353, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615018442>>. Acesso em: 14 jan. 2020.

SOUZA, M. A. et al. Lixo zero : por uma rota tecnológica alinhada às diretrizes da política nacional de resíduos sólidos. In: **Catadores de Materiais Recicláveis Um encontro nacional**, 2016.

TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. **British Journal of Management**, [s. l.], v. 14, p. 207–222, 2003.

UN, 2017. World Population Prospects - The 2017 Revision. United Nations, New York.

VITORINO DE SOUZA MELARÉ, A. et al. Technologies and decision support systems to aid solid-waste management: a systematic review. **Waste Management**, [s. l.], v. 59, p. 567–584, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X16306171>>. Acesso em: 14 fev. 2020.

Yin, Robert K. Estudo de caso: planejamento e métodos I Robert K. Yin; trad. Daniel Grassi-2.ed.- Porto Alegre: Bookman, 2001