

Universidade de Brasília – UnB
Centro de Desenvolvimento Sustentável - CDS
Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável - PPGCDS

**REDES DE CIDADES E *CLUSTERS* DE CIRCULARIDADE:
CAMINHOS VIÁVEIS DE TRANSIÇÃO PARA CIDADE CIRCULAR**

Tese de Doutorado

Maria Cristina Pegorin

Orientador: Prof. Dr. Armando de Azevedo Caldeira-Pires

Co-orientador: Dr. Jacob Silva Paulsen

Brasília - DF
Outubro, 2022

Universidade de Brasília – UnB
Centro de Desenvolvimento Sustentável - CDS
Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável - PPGCDS

**REDES DE CIDADES E *CLUSTERS* DE CIRCULARIDADE: CAMINHOS VIÁVEIS
DE TRANSIÇÃO PARA CIDADE CIRCULAR**

Tese de Doutorado submetida ao Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutora em Desenvolvimento Sustentável, área de concentração em Política e Gestão da Sustentabilidade.

Orientador: Prof. Dr. Armando de Azevedo Caldeira-Pires

Co-orientador: Dr. Jacob Silva Paulsen

Brasília - DF
Outubro, 2022



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

**REDES DE CIDADES E *CLUSTERS* DE CIRCULARIDADE: CAMINHOS VIÁVEIS
DE TRANSIÇÃO PARA CIDADE CIRCULAR**

Maria Cristina Pegorin

Tese de Doutorado submetida ao Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutora em Desenvolvimento Sustentável, área de concentração em Política e Gestão da Sustentabilidade.

Aprovada em defesa por:

Prof. Dr. Armando de Azevedo Caldeira-Pires (CDS/UnB)
(Orientador)

Profa. Dra. Jeniffer de Nadea (UNIFEI)
(Examinadora externa)

Profa. Dra. Maria Amélia Dias (UnB)
(Examinadora interna)

Profa. Dra. Doris Aleida Villamizar Sayago (CDS/UnB)
(Examinadora interna do programa)

DEDICATÓRIA

Dedico o trabalho desenvolvido nesta tese a meus pais, Normando Pegorin e Maria Aparecida Borges Pegorin. Todos os dias, em cada passo que dou, sempre vivos em meu coração.

AGRADECIMENTOS

Agradeço:

Ao meu orientador, Armando de Azevedo Caldeira Pires, por ter me conduzido durante toda a execução desta pesquisa.

Ao meu co-orientador, Jacob Silva Paulsen, por ter contribuído imensamente para a melhoria deste trabalho durante todas as suas etapas de construção.

À professora Doris Aleida Villamizar Sayago, sem a qual a finalização de meu doutorado não teria sido possível.

Aos professores Eric Sabourin, Fabiano Toni, João Nildo de Souza Vianna (*in memoriam*), José Augusto Leitão Drummond e José Luiz de Andrade Franco; com os quais tive a oportunidade de aprender durante o meu caminho de doutorado.

Às professoras Cristiane Gomes Barreto, Jeniffer de Nadae e Maria Amélia Dias; por terem lido esta tese e dado valiosas contribuições para a sua melhoria.

Ao amigo Marc Theisen, por todas as conversas que tivemos a respeito de economia circular e que tanto me ajudaram a traçar uma rota de pensamento para o desafio que foi a elaboração e conclusão desta tese.

À amiga Emília de Oliveira Faria, por todas as leituras que fez dos meus escritos para a tese, seguidas de sugestões que muito enriqueceram este trabalho.

Aos amigos Gilmar Marques e Milton Jarbas, pelo apoio dado durante os anos de doutorado.

“As cidades que explodem no mundo em desenvolvimento também entretecem novos e extraordinários corredores, redes e hierarquias”.
(DAVIS, 2006, p. 16)

RESUMO

O modelo vigente de economia linear, onde há constante extração e descarte de recursos, resulta em impactos negativos em todas as dimensões da sustentabilidade urbana. A economia circular se opõe a este modelo por meio da proposição de estratégias que visam contribuir para a otimização do ciclo de vida de materiais e produtos. Como a maior parte dos recursos são consumidos e descartados dentro do ambiente urbano, o problema de pesquisa desta tese é “a transição para cidade circular contribui positivamente para a sustentabilidade urbana?”. Considerando que cidade circular é aquela que incorpora e aplica os princípios da economia circular, o objetivo geral foi identificar a viabilidade de implementação da transição para cidade circular e a sua contribuição para a sustentabilidade urbana. Quanto aos métodos, esta pesquisa se caracteriza como qualitativa e descritiva-explicativa, tendo sido organizada em quatro etapas: i) revisão de literatura sobre economia circular e metabolismo urbano (capítulos três e quatro) por meio de revisão integrativa e análise bibliométrica; ii) revisão de literatura sobre cidade circular e as inter-relações dela com outras sete categorias urbanas sustentáveis (capítulo cinco), nesta etapa, empregou-se revisão narrativa; iii) identificação dos requisitos de transição para cidade circular, tendo como exemplo a cidade de Amsterdã/Holanda (capítulo seis), com pesquisa realizada em relatórios institucionais; e iv) análise de como os requisitos de transição para cidade circular podem ser atendidos por meio de organização em *clusters* de circularidade ou em redes de cidades (capítulo sete), teve a reciclagem de alumínio no Brasil como exemplo e método de pesquisa baseado em revisão de relatórios e pesquisa em *sites* institucionais. Esta tese demonstra que os requisitos para projetos/programas que contribuam para a transição para cidade circular podem ser organizados em uma estrutura que abrange base de ciência, tecnologia e inovação; condições estruturais; governança; e dínamo de transição. Demonstra-se também que essa estrutura de requisitos pode ser aplicada tanto em *clusters* de circularidade quando em redes de cidades. Projetos/programas em *clusters* de circularidade são indicados para cidade ou grupo de cidades próximas que, no conjunto, detenha os recursos necessários para a implementação de uma determinada estratégia de transição. Quando a cidade ou região não possuir toda a estrutura necessária para a implementação da estratégia, recomenda-se a organização em redes de cidades, até o limite da viabilidade do custo tecnológico e/ou logístico. Em ambas as situações, a transição para cidade circular se dá em estrutura espiral crescente de tal forma que, quanto melhores os níveis de aplicabilidade e qualidade de projetos/programas, maior o nível da transição. Considera-se também que a amplitude dessa espiral tem como requisito fundamental a condição estrutural das cidades, no que tange à ação de entidades governamentais que desenvolvam, implementem e monitorem a aplicabilidade de políticas públicas que incentivem a transição para cidade circular. Assim, conclui-se que a transição para cidade circular é possível, e que a aplicação dos princípios de economia circular na cidade contribui para a sustentabilidade urbana nas dimensões social, ambiental e econômica.

Palavras-chave: economia circular; sustentabilidade urbana; princípios da economia circular.

ABSTRACT

The current model of the linear economy, with constant extraction and disposal of resources, results in negative impacts in all dimensions of urban sustainability. The circular economy opposes this model by proposing strategies to optimize the life cycle of materials and products. As most resources are consumed and disposed of within the urban environment, the research problem of this thesis is "does the transition to a circular city positively contribute to urban sustainability?". The general objective is to identify the feasibility of implementing a circular city transition and its contribution to urban sustainability, considering that a circular city incorporates and applies the circular economy principles. As for the methods, this research follows a qualitative and descriptive-explanatory approach. It is organized in four stages: i) literature review on circular economy and urban metabolism (chapters three and four) through integrative review and bibliometric analysis; ii) literature review on the circular city and its interrelationships with seven other sustainable urban categories (chapter five), through a narrative review; iii) identification of transition requirements for a circular city, taking as an example the city of Amsterdam/Holland (chapter six), with research on institutional reports; and iv) analysis of how the requirements for the circular city transition can be met through circularity clusters or city networks (chapter seven), with aluminum recycling in Brazil as an example and a review of reports and research on institutional websites. This thesis demonstrates that the requirements for projects/programs contributing to the transition to a circular city can follow a structure encompassing a base of science, technology, innovation, structural conditions, governance, and dynamo transition. It demonstrates that the requirements' structure can be applied in circularity clusters and city networks. Projects/programs through circularity clusters are indicated for a city or a group of nearby cities that, as a whole, have the necessary resources to implement a specific transition strategy. When the city or region does not have all the necessary structure for this strategy's implementation, the organization in city networks under the technological and/or logistical cost feasibility limit is a better fit. In both cases, the transition to a circular city takes place in a growing spiral structure, so the better the applicability and quality level of projects/programs, the higher the transition level. Besides, the research considers that the breadth of this spiral depends on the structural condition of cities for the action of government entities that develop, implement and monitor the applicability of public policies favoring the transition to a circular city. Thus, in conclusion, the transition to a circular city is possible, and the application of circular economy principles in the city contributes to urban sustainability in the social, environmental, and economic dimensions.

Keywords: circular economy; urban sustainability; circular economy principles.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura da figura de diagrama estratégico.....	23
Figura 2: Resumo do método da pesquisa.....	26
Figura 3: Número de publicações de “economia circular”	31
Figura 4: Nuvem de palavras do conceito de economia circular.....	34
Figura 5: Mapa evolutivo da economia circular de 2001 a 2022 com base em publicações do <i>Scopus</i>	44
Figura 6: Diagrama estratégico - período de 2001-2018 e de 2021.....	45
Figura 7: Rede temática de tema social dos períodos de 2020 e de 2021.....	46
Figura 8: Rede temática de Covid do período 2021.....	46
Figura 9: Redes temáticas de consumo e suprimento de recursos período 2020.....	47
Figura 10: Redes temáticas de transição para sustentabilidade e economia ambiental período 2020.....	47
Figura 11: Redes temáticas de ciclo fechado e fim de vida no período de 2021.....	48
Figura 12: Economia linear <i>versus</i> economia circular.....	49
Figura 13: Dínamo de transição para a economia circular.....	51
Figura 14: Evolução das palavras-chave nos estudos de metabolismo urbano e economia circular.....	63
Figura 15: Redes temáticas de resíduos municipais e gestão urbana.....	64
Figura 16: Redes temáticas de fluxo de materiais.....	65
Figura 17: Modelo de união economia circular e metabolismo urbano.....	66
Figura 18: Relação entre princípios e estratégias de cidade circular.....	82
Figura 19: Características de outras tipologias urbanas sustentáveis contidas na cidade circular.....	84
Figura 20: Interrelação da cidade circular com outras categorias urbanas sustentáveis.....	85
Figura 21: Organização de requisitos de transição à cidade circular.....	95
Figura 22: Estrutura de requisitos à transição para cidade circular.....	96
Figura 23: Canva de estruturação de requisitos de projetos/programas de transição para cidade circular.....	97

Figura 24: Transição para cidade circular e otimização do metabolismo urbano.....	104
Figura 25: Quantidade de resíduos sólidos comercializados por organizações de catadores em 2020.....	110
Figura 26: Média dos processos dos resíduos sólidos comercializados pelas organizações de catadores em 2020.....	111
Figura 27: Renda média mensal de catadores em 2020.....	112
Figura 28: Mapa da estrutura de reciclagem da ReciclaBR.....	117
Figura 29: Estrutura de requisitos para transição para cidade circular.....	119
Figura 30: Exemplificação de redes de cidades para o setor de alimentos.....	122
Figura 31: Representação espacial dos municípios que exportam, importam ou não realizam fluxo intermunicipal	125
Figura 32: Consórcios públicos intermunicipais para serviços de manejo de RSU em 2019....	127
Figura 33: Espirais de transição para cidade circular em <i>clusters</i> circularidade e de redes cidades.....	129
Figura 34: Rede de circularidade urbana.....	130

LISTA DE QUADROS

Quadro 01: Instituições respondentes do questionário de pesquisa.....	25
Quadro 02: Matriz de amarração metodológica.....	27
Quadro 03: Artigos com a palavra-chave “economia circular” nas bases <i>Scopus</i> e <i>Web of Science</i>	32
Quadro 04: Quadro conceitual de economia circular.....	32
Quadro 05: Princípios e estratégias para a transição para a economia circular.....	37
Quadro 06: Desafios à transição para a economia circular.....	40
Quadro 07: Artigos com a palavra-chave “metabolismo urbano”.....	54
Quadro 08: Estudos de metabolismo urbano.....	55
Quadro 09: Métodos de diagnóstico e controle de metabolismo urbano.....	57
Quadro 10: Artigos que unem “metabolismo urbano” e “economia circular”.....	60
Quadro 11: Publicações de categorias cidades urbanas sustentáveis.....	68
Quadro 12: Definições de “cidade circular” obtidas na revisão de literatura.....	69
Quadro 13: Os 13 passos circulares para cidades.....	76
Quadro 14: Categorias urbanas sustentáveis e interrelações com cidade circular.....	79
Quadro 15: Fundamentação teórica para elaboração do questionário de pesquisa.....	89
Quadro 16: Síntese das respostas obtidas no questionário.....	93
Quadro 17: Ação do poder público para a transição para cidade circular.....	98
Quadro 18: Base de ciência, tecnologia e inovação em cidades que estão fazendo a transição.....	102
Quadro 19: Condições estruturais da transição em Amsterdã.....	101
Quadro 20: Governança na transição de Amsterdã.....	102
Quadro 21: Dínamo da transição em Amsterdã.....	102
Quadro 22: Economia circular em cidades no Brasil.....	113
Quadro 23: Principais instituições da cadeia de reciclagem de alumínio no Brasil.....	116
Quadro 24: Relação entre cluster completo e economia circular.....	120

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Estimativa do déficit do serviço de coleta de RDO em relação à população urbana em 2019.....	108
Tabela 2: Tipos de unidades de processamento em 2019.....	108
Tabela 3: Abrangência do serviço de coleta seletiva porta a porta de RDO dos municípios em 2019.....	109
Tabela 4: Autossuficiência financeira do órgão gestor com o manejo de RSU dos municípios em 2019.....	124
Tabela 5: Despesa <i>per capita</i> com manejo de RSU em relação à população urbana em 2019.....	124
Tabela 6: Consórcios públicos intermunicipais para os serviços de manejo RSU dos municípios participantes do SNIS em 2019.....	126

LISTA DE SIGLAS

ADEME - Agência de Meio Ambiente de Paris

ACV - Avaliação do ciclo de vida

BDTD - Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações

CMD - Consumo de Material Doméstico

DFE - Projeto de produto/serviço para o meio ambiente

EIA - Avaliação de Impacto Ambiental

EMF – Fundação Helen MacArthur

EPR - Responsabilidade alargada do produtor

EUROSTAT - Gabinete de Estatística da União Europeia

EVR - Extensão de valor de uso do recurso (*Extending resource value*)

IDSC-BR - Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades – Brasil

IO – Tabela de entrada e saída

IoT – Internet das coisas

MFA – Análise do fluxo de materiais

MMA - Ministério do Meio Ambiente

MNCR - Movimento Nacional dos Catadores de Materiais Recicláveis

ODS - Objetivo de Desenvolvimento Sustentável

PCS - Programa Cidades Sustentáveis

PEV - Ponto de entrega voluntária de material reciclado

PNRS – Plano Nacional de Resíduos Sólidos

PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos

PSS - Sistemas de serviços/produtos

RER - Taxa de eficiência de reciclagem global

RIR - Taxa de reciclagem global

RIS - Sistema de informação de pesquisa (*Research Information Systems*)

RDO - Índice de cobertura dos serviços de coleta domiciliar

RSU - Resíduos Sólidos Urbanos

SCIMAT – Programa de organização e mapeamento de dados científicos (*Science Mapping Analysis Software Tool*)

SBN – Soluções baseadas na natureza

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. MÉTODOS DE PESQUISA.....	21
2.1 INSTRUMENTOS DE COLETA E ANÁLISE DE DADOS	21
2.2 ESTRUTURA DA TESE.....	26
3. CAMINHOS DA ECONOMIA CIRCULAR	29
3.1 REVISÃO DE LITERATURA.....	29
3.2 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO.....	48
4. INTERAÇÕES DE ECONOMIA CIRCULAR E METABOLISMO URBANO.....	53
4.1 CAMINHOS DO ESTUDO DE METABOLISMO URBANO	53
4.2 MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO E CONTROLE DO METABOLISMO URBANO..	57
4.3 METABOLISMO URBANO: FLUXOS DA CIDADE SOB A ÓTICA DA ECONOMIA CIRCULAR	59
4.4 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO.....	65
5. INTERAÇÃO ENTRE CIDADE CIRCULAR E OUTRAS CATEGORIAS URBANAS SUSTENTÁVEIS.....	67
5.1 CIDADE CIRCULAR: BASES TEÓRICAS E METODOLOGIAS DE TRANSIÇÃO	67
5.1.1 Metodologia RESOLVE	73
5.1.2 Metodologia de cidades circulares como centros.....	74
5.1.3 Metodologia de estrutura de Análise Circular da Cidade (EACC)	76
5.1.4 Metodologia do Banco de Investimento Europeu	76
5.2 INTERAÇÕES ENTRE CIDADE CIRCULAR E OUTRAS CATEGORIAS URBANAS SUSTENTÁVEIS	77
5.3 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO.....	82
6. CAMINHOS DE TRANSIÇÃO PARA CIDADE CIRCULAR.....	88
6.1 ESTRUTURA DE REQUISITOS À TRANSIÇÃO PARA CIDADE CIRCULAR	89
6.2 AMSTERDAM CIRCULAR: ESTRATÉGIAS E ESTRUTURA DA TRANSIÇÃO ..	97
6.3 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO.....	103
7. TRANSIÇÃO PARA CIDADE CIRCULAR POR REDES DE CIDADES OU CLUSTERS DE CIRCULARIDADE? O EXEMPLO DA RECICLAGEM DE ALUMÍNIO NO BRASIL.....	106

7.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA GESTÃO DE RESÍDUOS NO BRASIL	107
7.2 RECICLAGEM DE ALUMÍNIO NO BRASIL	114
7.3 TRANSIÇÃO PARA CIDADE CIRCULAR EM CLUSTERS DE CIRCULARIDADE OU EM REDES DE CIRCULARIDADE	120
7.4 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO	128
CONCLUSÃO	132
REFERÊNCIAS	137
GLOSSÁRIO	158
APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO	162

1. INTRODUÇÃO

As dimensões do desenvolvimento sustentável são: social, ambiental, territorial (relacionado à distribuição espacial de recursos), econômica e política (SACHS, 2008); e a sustentabilidade urbana envolve um conjunto de elementos que abrange todas essas dimensões. Na dimensão ambiental, o espaço urbano deve promover proteção de recursos naturais, controle da poluição, gestão de resíduos, capacidade de resiliência e qualidade no provimento de serviços ambientais como água e ar, entre outros aspectos. A dimensão econômica requer - entre seus fatores - promoção de empregos e salários que atendam às necessidades básicas e acesso a moradia. Na dimensão social, o espaço urbano deve promover diversidade, qualidade de vida, bem-estar social, governança participativa, baixa taxa de criminalidade e acesso à saúde e à educação (MACLAREN, 1996). Assim, há sustentabilidade urbana quando se tem infraestrutura que proporciona ambiente sustentável, habitável e cidade eficiente (TOLI e MURTAGH, 2020).

O desenvolvimento sustentável é um processo de mudança que exige, entre outros aspectos, maior eficiência no uso de recursos (WCED, 1985). O modelo de economia linear gera impactos negativos em todas as dimensões da sustentabilidade. Nele, há constante consumo de recursos naturais e alta geração de resíduos descartados no ambiente. Esse modelo faz com que materiais e produtos tenham uma vida linear que vai do “berço-ao-túmulo”; onde o berço é a extração do recurso, e o túmulo é o depósito de resíduo na natureza.

A economia circular é a substituição do modelo linear por outro que promove o prolongamento de vida de materiais e produtos por meio do emprego de estratégias relacionadas aos princípios da estrutura R - repensar, recusar, reduzir, reutilizar, reformar, remanufaturar, reaproveitar, reciclar e recuperar (KIRCHHERR et al, 2017). Como a maior parte dos materiais e recursos são consumidos e produzidos dentro da cidade, é importante que haja uma transição da cidade linear para a cidade circular.

Conceitua-se cidade circular como aquela que incorpora os princípios da economia circular em todas as suas funções, estabelecendo um sistema urbano que é regenerativo, acessível e abundante na sua estrutura e planejamento (EMF, 2017). Os sistemas urbanos têm um papel central na transição para a economia circular, e o papel das cidades no consumo as torna essenciais para o desenvolvimento sustentável. A necessidade de sistemas urbanos sustentáveis levou à intensificação da pesquisa científica para facilitar trajetórias de desenvolvimento favoráveis (GUE et al, 2022). A transição para cidade circular pode contribuir

para que centros urbanos se tornem consumidores dos seus próprios resíduos e geradores dos recursos necessários à sua manutenção, sendo que esses recursos também passam a ter seus ciclos de vida otimizados e prolongados.

Toda cidade é um sistema aberto que importa, exporta e estoca recursos para a manutenção de suas funções; o fluxo desses recursos é denominado metabolismo urbano (VOSKAMP, 2016). A implementação de estratégias de economia circular pode contribuir para a melhoria de indicadores de metabolismo urbano e para o cumprimento do décimo primeiro Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que é “tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis” (ONU, 2015). Principalmente no que tange às metas de reduzir o impacto ambiental negativo *per capita* das cidades, com especial atenção à qualidade do ar, gestão de resíduos e outros; e apoiar relações econômicas, sociais e ambientais positivas entre áreas urbanas, periurbanas e rurais.

O termo “cidade circular”, no contexto da economia circular, apareceu pela primeira vez em bancos de dados científicos em 2017, por meio da publicação de dois artigos: “*Circular cities: mapping six cities in transition*” (PRENDEVILLE et al, 2017) e “*Circular economy in the context of the alterglobalization*” (KRYSOVATYY et al, 2017). Enquanto as pesquisas a respeito de cidade circular estão iniciando – 62 artigos sobre a temática na base de dados científicos *Scopus* em junho de 2022 -, se intensifica a implementação de políticas de planejamento urbano com base em práticas de economia circular. Amsterdam, Londres e Paris são exemplos de cidades que estão fazendo a transição, e que já se autointitulam como “cidades circulares”.

Em pesquisa realizada em junho de 2022 no catálogo de teses e dissertações da Capes, foi identificada somente uma tese no Brasil com a palavra-chave “cidade circular”, sendo ela denominada “Do lixão à economia circular: um salto possível?”, de Veiga (2019). Entretanto, a temática de cidade circular não foi tratada diretamente na tese, pois a pesquisa foi a respeito da contribuição da economia circular na gestão de resíduos sólidos urbanos, tendo como estudo de caso municípios do estado de Goiás. Em pesquisa na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações não foram encontrados trabalhos sobre a temática de cidade circular. Sendo assim, pode-se afirmar que até o presente momento não há pesquisas sobre cidade circular desenvolvidas Brasil.

Sendo a cidade circular um termo novo de estudo na academia, PRENDEVILLE et al (2017, p. 172) afirmam que ela deve ser pesquisada, por ser “a última em uma série de tendências de sustentabilidade urbana que, sem dúvida, falharam”. Corroborando a isso, HORN

e PROKSCH (2022) e D'AMICO (2022) acrescentam que há necessidade de aprofundamento e exploração de futuras pesquisas, visto que a transição para cidades circulares envolve abordagem transdisciplinar e relações de múltiplos quadros de sustentabilidade sinérgicos, e que se tornou ainda mais necessária em função da pandemia do COVID-19.

Assim, a lacuna (*gap*) de pesquisa encontrada para o desenvolvimento desta tese está no próprio fato de o tema de estudo cidade circular ser novo na academia, ao mesmo tempo em que há uma demanda crescente para a melhoria da sustentabilidade urbana. Nesse contexto, o problema de pesquisa que serviu de ponto de partida para esta tese é: “como a transição para cidade circular contribui para a sustentabilidade urbana?”. O objetivo principal é “identificar a viabilidade de implementação da transição para cidade circular e a sua contribuição para a sustentabilidade urbana”. Os objetivos específicos foram os seguintes:

- a. Identificar os principais requisitos e estratégias da economia circular.
- b. Analisar como fluxos de metabolismo urbano se relacionam com práticas de economia circular na cidade.
- c. Identificar as características de uma cidade circular em comparativo a outras categorias de cidades sustentáveis.
- d. Descrever os principais agentes motivadores da transição para cidade circular.
- e. Propor uma estrutura por meio da qual se possa elencar os requisitos básicos a serem atendidos em projetos/programas de transição para cidade circular.

Esta tese está organizada em sete capítulos. O primeiro deles é esta introdução; seguido do capítulo dois, que apresenta os métodos. A pesquisa realizada nesta tese é qualitativa, descritiva-explicativa e elaborada por meio de revisão de literatura que compreendeu métodos de revisão integrativa, revisão narrativa e análise bibliométrica. No capítulo três, “caminhos da economia circular”, buscou-se atender ao objetivo específico de identificar os principais requisitos e estratégias da economia circular. Para isso, foi realizada pesquisa bibliográfica que apresenta o estado da arte da economia circular.

O capítulo quatro, “interações entre economia circular e metabolismo urbano”, foi norteado pelo objetivo específico de analisar como fluxos de metabolismo urbano se relacionam com práticas de economia circular na cidade. Este capítulo apresenta dados numéricos a respeito de cidades e de resíduos sólidos, revisão de literatura sobre metabolismo urbano e a relação entre a economia circular e metabolismo urbano.

No capítulo cinco, “cidade circular e suas interrelações com outras categorias urbanas sustentáveis”, atende-se ao objetivo específico de identificar as características de uma cidade circular em comparativo a outras categorias de cidades sustentáveis. As categorias de cidades escolhidas para a análise foram cidade verde, cidade inteligente, cidade resiliente, eco-cidade, cidade de baixo carbono e cidade com soluções baseadas na natureza. Essas categorias foram escolhidas por serem aquelas com maior incidência de citação nos artigos lidos para o desenvolvimento desta tese. No âmbito deste estudo, é aplicado o termo ‘categoria urbana sustentável’ para se referir a conjunto de metodologias, características e estratégias que podem ser identificadas em uma cidade e em seus arredores com o objetivo de melhorar indicadores de sustentabilidade urbana.

No capítulo seis, “caminhos de transição para cidade circular”, são apresentados o exemplo de transição para cidade circular de Amsterdam/Holanda e as políticas de economia circular adotadas na União Europeia. O capítulo atendeu ao objetivo específico de descrever os principais agentes motivadores da transição para cidade circular. O capítulo sete, “transição para cidade circular por redes de cidades ou por *clusters* de circularidade? O exemplo de reciclagem de alumínio no Brasil”, atende ao objetivo específico de propor uma estrutura por meio da qual se possa elencar os requisitos básicos a serem atendidos em projetos/programas de transição para cidade circular. Neste capítulo, é feita uma contextualização da situação do Brasil em relação à economia circular com dados relacionados à geração de resíduos, políticas públicas e projetos/programas de economia circular em cidades brasileiras. Na sequência, é demonstrado o exemplo da reciclagem de alumínio no Brasil, escolhido por ser um caso de sucesso de reciclagem em país em desenvolvimento.

Ao final da tese, é apresentado um glossário contendo as principais palavras-chave e termos utilizados na pesquisa. A elaboração do glossário tem o intuito de propiciar maior facilidade na leitura desta tese; tendo em vista o grande uso de termos técnicos relacionados, sobretudo, às áreas de economia circular, sustentabilidade urbana e metabolismo urbano.

O trabalho desenvolvido nesta tese se justifica pelo fato de que - seja para incorporar, seja para refutar o conceito de cidade circular - é necessário saber quais são as suas características, requisitos e metodologias de implementação. É importante também compreender se a implementação de estratégias de cidade circular pode contribuir para a sustentabilidade urbana, agregando valor em relação a outras categorias urbanas sustentáveis já existentes. Em relação ao Brasil, de maneira específica, os resultados desta pesquisa podem

contribuir para fomentar a discussão a respeito de estratégias a serem implementadas e de lacunas a serem atendidas para que se pense a transição para cidades circulares no país.

2. MÉTODOS DE PESQUISA

2.1 INSTRUMENTOS DE COLETA E ANÁLISE DE DADOS

Quanto ao seu propósito, esta é uma pesquisa descritiva-explicativa; e o fenômeno por ela estudado é a transição para cidade circular. A natureza dos dados desta pesquisa é qualitativa e o delineamento é não-experimental, com revisão bibliográfica. Quanto à delimitação da pesquisa, embora a economia circular impacte todas as dimensões da sustentabilidade, este estudo está focado na dimensão ambiental, sendo todas as demais dimensões transversais à discussão realizada.

A pesquisa bibliográfica realizada nesta tese compreendeu revisão integrativa, revisão narrativa e análise bibliométrica. A revisão integrativa aplica protocolo de pesquisa que abrange estudos experimentais e não-experimentais, e busca esgotar as fontes (UNESP, 2015). A principal fonte de pesquisa utilizada nesta tese foi a base de dados científicos *Scopus*, escolhida por ser a que continha mais publicações a respeito dos eixos principais desta tese: economia circular e cidade circular. Os critérios de limitação de pesquisa na base de dados *Scopus* foram: somente artigos ou revisões, e que a palavra-chave estivesse presente em títulos, resumo ou palavras-chave. O critério de inclusão e exclusão estabelecido para a busca de artigos para a revisão integrativa foi maior número de citações, maior nível de impacto na base e pertinência com os objetivos da pesquisa.

A revisão integrativa realizada nos capítulos três e quatro da tese teve o seguinte protocolo: a) pesquisa com a palavra chave em inglês (“*circular economy*” no capítulo três e “*urban metabolism*” no capítulo quatro); b) leitura do resumo de todos os artigos constantes na base de dados *Scopus* até o período da pesquisa (junho de 2019); c) aplicação de critério de inclusão e exclusão para escolha dos artigos que seriam lidos na íntegra, sendo eles: leitura de todos os artigos que tivessem número de citações acima de 50, leitura de todos os artigos que tivessem impacto (*Field-Weighted Citation Impact*) a partir de 2 e leitura de todos os artigos (independente de número de citação e de impacto) que tratassem da temática em estudo (“economia circular em cidades” para o capítulo três e “economia circular e indicadores de metabolismo urbano” para o capítulo quatro); e c) a partir da leitura dos artigos, foram citados nesta tese aqueles considerados mais pertinentes para a discussão realizada nela. Salienta-se que, como o protocolo de pesquisa integrativa foi aplicado no final do ano de 2019,

posteriormente, a pesquisa foi atualizada com a livre incorporação de artigos publicados e incorporados ao *Scopus* após esta data.

A denominação de revisão narrativa é aplicada a pesquisas bibliográficas que não seguem um protocolo de pesquisa definido e onde também não se busca esgotar todas as fontes de pesquisa a respeito de uma determinada temática. A escolha das fontes de pesquisa que irão compor uma revisão narrativa são livremente norteadas pelo pesquisador (UNESP, 2015).

Na revisão narrativa, costuma ser empregada a metodologia de “bola de neve”, essa metodologia é utilizada tanto para a escolha de respondentes para um questionário ou entrevista, quanto para as publicações em uma revisão bibliográfica WOHLIN (2014). Nesta tese, a metodologia de bola de neve foi utilizada para identificar obras adicionais que poderiam complementar o conteúdo obtido com o protocolo de revisão integrativa. Isso possibilitou incluir neste estudo: a) artigos que entraram no *Scopus* após a aplicação do protocolo de pesquisa integrativa; b) materiais citados como importantes nos artigos advindos da revisão integrativa; c) artigos de outras bases de dados científicos, como *Web of Science*; e c) relatórios institucionais. Esses últimos, embora sejam “literatura cinza”, foram utilizados nesta tese porque a temática de cidade circular é muito nova na academia, e os artigos publicados citam frequentemente relatórios de entidades que estão envolvidas tanto com a temática de sustentabilidade urbana quanto com resultados de cidades que estão realizando a transição para cidade circular.

A revisão bibliométrica é abordagem de pesquisa que combina análise de desempenho e mapeamento de publicações científicas, permitindo quantificar e visualizar a evolução temática de um determinado campo de estudo. Seu protocolo de pesquisa abrange coleta de dados, seleção de palavras-chave, desenvolvimento de matriz de cálculo (normalmente, utilizando um *software*), visualização de resultados e interpretação de dados (COBO et al, 2011; CHEN et al, 2016; GUTIERREZ-SALCEDO et al, 2018). As revisões bibliométricas realizadas nesta tese utilizaram o *software* livre *Science Mapping Analysis Software Tool* (SCIMAT) versão 1.0, que é um programa de organização e mapeamento de dados científicos (COBO et al, 2012).

A análise bibliométrica realizada no SCIMAT apresenta três tipos diferentes de figuras: a) mapa evolutivo, que mostra a evolução das publicações ao longo do tempo; b) diagrama estratégico, que permite detectar (em cada período de pesquisa) quais são os temas motores da área de estudo, bem como saber como eles se posicionam (figura 1); e c) rede temática: para cada tema motor identificado no diagrama estratégico, mostram co-ocorrência entre temáticas

de pesquisa (COBO et al, 2012). Com isso, foi possível saber quais são os temas motores dos estudos de economia circular de 2001 a 2021 e, dentro dos principais temas motores identificados na pesquisa, quais são as principais palavras-chave. A pesquisa bibliométrica será apresentada nos capítulos três e quatro desta tese. A figura 1 mostra a estrutura do diagrama estratégico do SCIMAT.

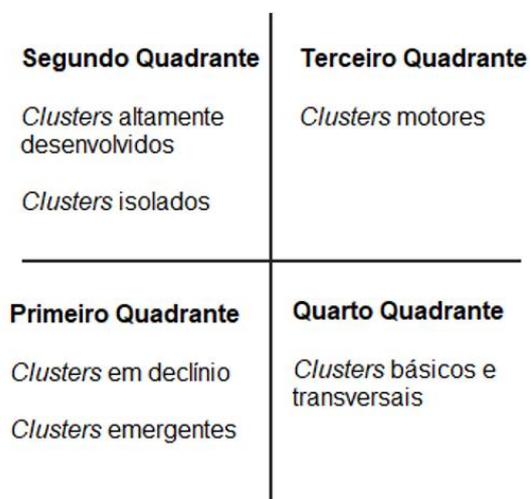


Figura 1: Estrutura da figura de diagrama estratégico.

Fonte: COBO et al (2011).

Para o capítulo três, “caminhos da economia circular”, a análise do SCIMAT teve um quantitativo de 7.373¹ artigos extraídos da base de dados *Scopus* com a palavra-chave “economia circular”. Essa revisão teve o objetivo de atualizar as informações a respeito dos caminhos de estudo acerca da temática de economia circular, devido ao grande número de publicações que ocorreu nos últimos três anos. Por essa mesma razão, a análise foi dividida em quatro períodos (2001-2018; 2019; 2020; e 2021). Exceto o ano de 2019, que teve 1.373 artigos publicados, para todos os demais períodos da pesquisa, foram utilizados os 2.000 últimos artigos publicados. Esse critério foi aplicado pelo fato de que 2.000 artigos é o máximo que o programa suportava para uma única exportação em formato de sistema de informação de pesquisa (RIS).

A revisão bibliométrica realizada no capítulo quatro da tese, “interações entre economia circular e metabolismo urbano”, foi realizada em 2018 (outubro) e tinha como objetivo demonstrar que havia relação entre economia circular e fluxos metabólicos urbanos, passo importante para compreensão da viabilidade e da contribuição da economia circular para a

¹ Salienta-se que, pelo protocolo de uma análise bibliométrica, esse quantitativo de artigos não foi lido, ele foi exportado em formato RIS do *Scopus* para o SCIMAT, o que propiciou a realização da análise bibliométrica.

sustentabilidade urbana. Essa revisão abrangeu 1.530 artigos do *Scopus* com a palavras-chave “economia circular” e 376 artigos sobre metabolismo urbano. Assim, a revisão totalizou 1.874 artigos, excluídos os duplicados. Posteriormente, o capítulo foi atualizado com análise de 2.000 artigos da base de dados *Scopus* publicados no período de 2021.

Para a elaboração do capítulo cinco da tese, “cidade circular e suas interrelações com outras categorias urbanas sustentáveis”, foram lidos os resumos de todos os artigos constantes na base de dados *Scopus* com a união das palavras-chave “cidade circular” e “economia circular” até junho de 2022. Para as demais categorias urbanas sustentáveis apresentadas no capítulo cinco, foi aplicada revisão narrativa. No capítulo seis, “caminhos de transição para cidade circular”, e no capítulo sete, “transição para cidade circular por redes de cidades ou por *clusters* de circularidade: o exemplo de reciclagem de alumínio no Brasil”, também foi aplicada revisão narrativa, com maior uso de informações de relatórios e de *sites* institucionais.

No capítulo seis, são apresentados estrutura e resultado de questionário que foi aplicado no processo de elaboração desta tese (APÊNDICE A). O questionário é composto por cinco questões abertas² e teve o objetivo de verificar, na percepção dos respondentes, quais eram os principais requisitos, estratégias e desafios à implementação de programas/projetos de economia circular no geral. O questionário não focou somente na transição para cidade circular, mas sim na economia circular como um todo, visto que a transição para cidade circular é impactada por práticas de todos os níveis da economia circular (produto, empresa e cidade/região). As variáveis de pesquisa que conduziram a elaboração do questionário foram ações, requisitos, desafios e papel de entidade públicas e privadas no que tange ao caminho para a economia circular. As variáveis do questionário e a estrutura de requisitos para a transição para cidade circular apresentadas no capítulo seis têm como base a revisão de literatura, principalmente em relação ao conteúdo desenvolvido no capítulo três.

Para aplicação dos questionários, foram selecionados trinta profissionais envolvidos com programas de economia circular, no Brasil e no exterior, que receberam e-mails de convite para responder o questionário e/ou participar de entrevista. Somente cinco questionários foram respondidos e uma entrevista foi realizada por videoconferência. Devido às poucas respostas, optou-se por utilizar somente os resultados dos questionários e a entrevista única não foi usada na tese, sendo assim a tese foi baseada principalmente na revisão de literatura.

² Os respondentes não marcaram alternativas, eles redigiram suas respostas.

O questionário apresentado no capítulo seis foi aplicado a membros de cinco instituições. Dois dos respondentes são pesquisadores da temática de economia circular, os outros três respondentes são profissionais que atuam em instituições que desenvolvem projetos de economia circular no Brasil. O quadro 1 apresenta as instituições aos quais os respondentes do questionário pertencem.

Instituição	Setor	Atuação da Instituição
Associação Brasileira de Alumínio (ABAL).	Terceiro	Entidade de classe que representa empresas do setor de alumínio no Brasil.
<i>Astoon Business School</i>	Ensino Privado (Reino Unido)	Acadêmica, com linha de pesquisa e publicações em economia circular.
Optou por não divulgar seu nome nesta pesquisa.	Terceiro	Entidade que reúne empresas brasileiras que realizam projetos de reciclagem.
Serviço de Limpeza Urbana do Distrito Federal (SLU)	Público	Autarquia do governo do Distrito Federal responsável pela limpeza e coleta de resíduos de Brasília e das cidades satélites.
Universidade do Oeste de Santa Catarina (UNOESC)	Ensino Privado	Acadêmica, com linha de pesquisa e publicações em economia circular.

Quadro 01: Instituições respondentes do questionário de pesquisa.

Fonte: Elaboração própria.

Como os questionários aplicados tiveram perguntas abertas, a análise dos dados coletados foi realizada empregando técnica de análise de conteúdo em relação às respostas escritas. A análise de conteúdo busca o sentido do texto expresso e a sua interpretação por meio de técnicas de sistematização, categorização e análise de dados qualitativos. Ela tem a palavra como elemento de análise, não podendo o pesquisador ir além da interpretação dos dados coletados (CAPPELLE et al, 2011; BASTOS e OLIVEIRA, 2015). A figura 02 apresenta um resumo do método de pesquisa da tese.

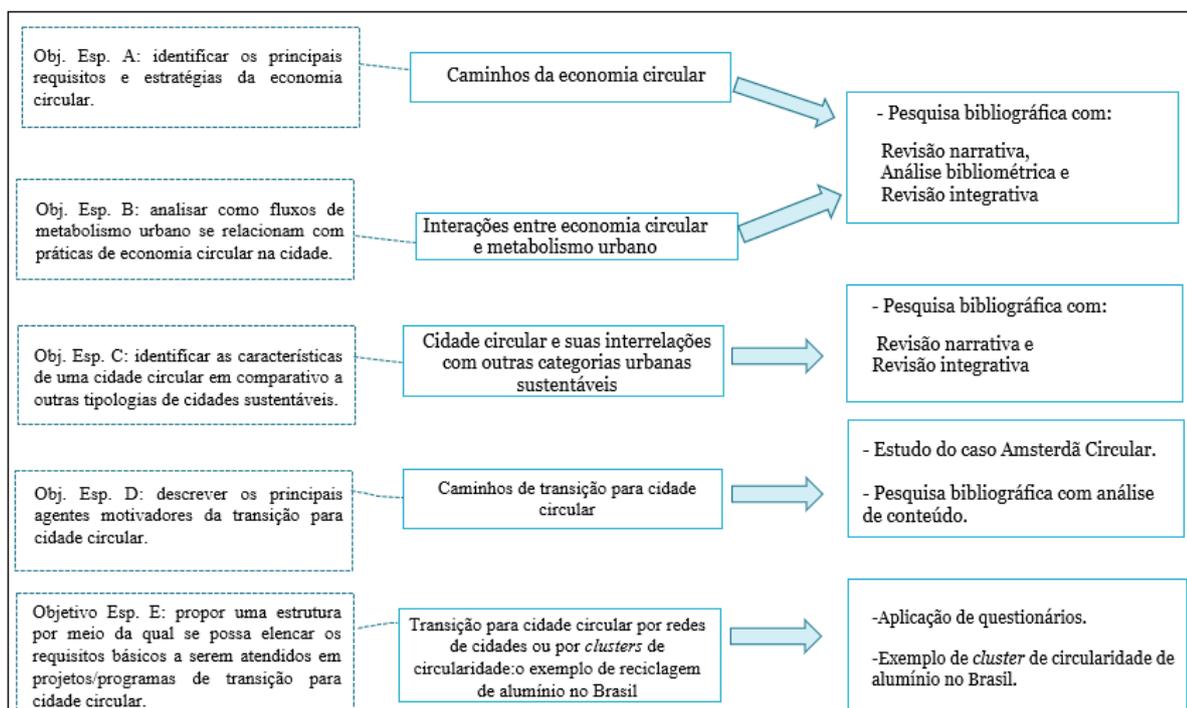
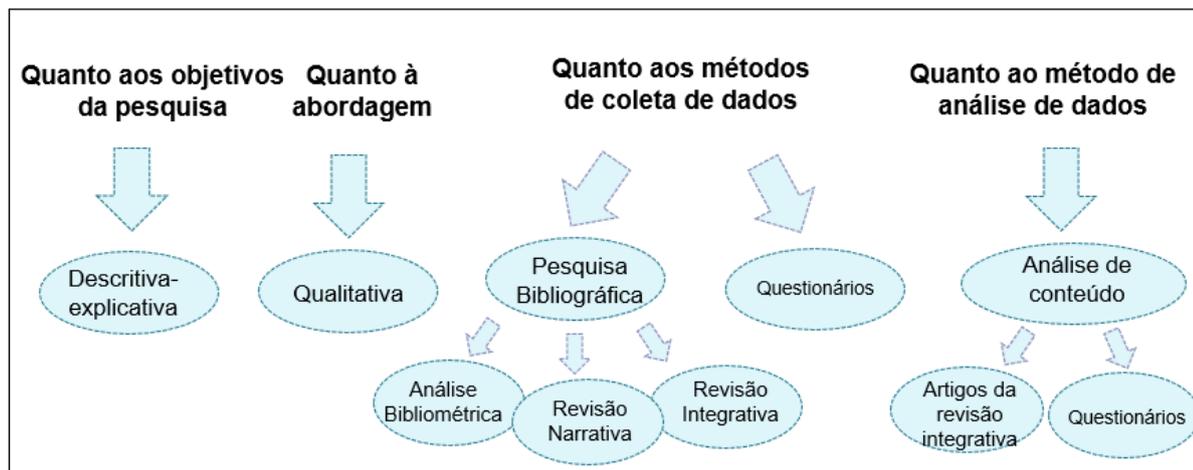


Figura 2: Resumo do método da pesquisa.
Fonte: Elaboração própria (2022).

2.2 ESTRUTURA DA TESE

O quadro 02 apresenta a matriz de amarração da tese, que foi adaptada de PEDRON et al (2019) com base no estudo realizado por eles a respeito da estruturação de teses. O quadro demonstra como cada um dos capítulos se distingue em relação às questões de pesquisa e aos objetivos. Concomitante a isso, também demonstra a interdependência dos capítulos no que tange ao construto da pesquisa para o alcance do objetivo principal, bem como dos resultados e considerações finais desta tese.

JUSTIFICATIVA DE DISTINÇÃO DO CAPÍTULO		JUSTIFICATIVA DA INTERDEPENDÊNCIA DO CAPÍTULO	
Capítulo	Objetivo	Procedimentos metodológicos de coleta e análise de dados ³	Papel na tese e contribuição esperada para o objetivo principal
01 Introdução	Apresentar tema, lacuna e justificativa da pesquisa.	----	----
02 Metodologia	Apresentar os métodos de pesquisa aplicados na tese.	----	----
03 Caminhos da economia circular	Objetivo específico a: identificar os principais requisitos e estratégias da economia circular.	<ul style="list-style-type: none"> - Revisão integrativa: a) leitura do resumo de 2.227 artigos da base de dados <i>Scopus</i> selecionados com a palavra-chave “economia circular” (total na base em junho de 2019); b) leitura na íntegra de 91 artigos selecionados pelos critérios de inclusão e exclusão; e c) utilização de 57 artigos na revisão integrativa. - Revisão bibliométrica: Compreendeu 7.373 artigos extraídos da base de dados <i>Scopus</i> com a palavra-chave “economia circular” (até dezembro de 2021). - Revisão narrativa: compreendeu: artigos que entraram na base de dados <i>Scopus</i> após o protocolo de revisão integrativa, artigos de outras bases de dados e relatórios institucionais. 	A base teórica promovida no capítulo viabiliza transitar, na sequência da tese, para os conteúdos relacionados à implementação da economia circular na cidade, resultados da economia circular nos fluxos de metabolismo urbano e, posteriormente, para a cidade circular e sua viabilidade e procedimentos de implementação.
04 Interações entre economia circular e metabolismo urbano.	Objetivo específico b: analisar como fluxos de metabolismo urbano se relacionam com práticas de economia circular na cidade.	<ul style="list-style-type: none"> - Revisão integrativa: a) leitura do resumo de 520 artigos da base de dados <i>Scopus</i> com a palavra-chave “metabolismo urbano” (total em junho de 2019); b) leitura na íntegra de 79 artigos selecionados pelos critérios de inclusão e exclusão. Utilização de 35 artigos na revisão integrativa. - Revisão bibliométrica: Compreendeu 1.874 artigos extraídos da base de dados <i>Scopus</i> com as palavras-chave “economia circular” (1530 artigos) e “metabolismo urbano” (376 artigos); excluídos os duplicados (total de publicações na base dados até outubro de 2018). Foi utilizado também um conjunto de 2000 mil artigo retirado do <i>Scopus</i> no período de 2021 com a palavra-chave “economia circular”. - Revisão narrativa: relatórios institucionais para levantamento de dados numéricos sobre cidades e artigos 	Estabelece relação entre a economia circular e o metabolismo urbano, possibilitando a compreensão de que a economia circular tem potencial para contribuir para a sustentabilidade urbana.

³ Esta tese começou a ser elaborada em outubro de 2017 e encerrou-se em junho de 2022. Sendo assim, há - em relação às revisões integrativas e bibliométricas realizadas nos capítulos dois e três - anos e quantidades diferentes de artigos, principalmente em relação à economia circular, onde eram 1.127 artigos na base *Scopus* em dez. 2017 e passam a ser 9.738 artigos em dez. 2021.

		de outras bases de dados escolhidos por meio de bola de neve.	
05 Cidade circular e suas interrelações com outras categorias urbanas sustentáveis.	Objetivo específico c: identificar as características de uma cidade circular em comparativo a outras categorias de cidades sustentáveis.	- Foram lidos todos os 67 artigos constantes na base de dados <i>Scopus</i> até junho de 2022 com as palavras-chave “cidade circular” e “economia circular” juntas. - Revisão narrativa para as demais categorias urbanas sustentáveis: a) pesquisa na base de dados <i>Scopus</i> tendo cada uma das categorias como palavra-chave de pesquisa (restrição de ser artigo ou revisão); b) leitura dos resumos dos últimos 400 artigos publicados em cada uma das categorias (até junho de 2021); e c) escolha dos artigos que seriam lidos na íntegra para a elaboração do trabalho. O critério adotado foi que o artigo apresentasse conceitos, características e estratégias de implementação da categoria urbana sustentável em estudo. Também foram utilizados relatórios de entidades internacionais.	O capítulo se propõe a revisar conceitos e características da cidade circular e compará-la a outras categorias urbanas. Com isso, é possível levantar inferências importantes sobre a viabilidade da cidade circular e a sua contribuição para a sustentabilidade urbana.
06 Caminhos de transição para cidade circular	Objetivo específico d: descrever os principais agentes motivadores da transição para cidade circular.	- Revisão narrativa: relatórios e sites institucionais para apresentação de dados de caracterização da União Europeia no que tange à sustentabilidade urbana, principalmente em relação à geração de resíduos e legislação relacionada a economia circular e para apresentação do exemplo de transição para cidade circular em Amsterdam. - Aplicação de cinco questionários (Apêndice A).	A contribuição deste capítulo para a tese é que a estrutura de requisitos apresentada nele demonstra a viabilidade da transição para cidade circular.
07 Transição para cidade circular por redes de cidades ou por <i>clusters</i> de circularidade: O exemplo de reciclagem de alumínio no Brasil	Objetivo específico e: propor uma estrutura por meio da qual se possa elencar os requisitos básicos a serem atendidos em projetos/programas de transição para cidade circular.	-Pesquisa em relatórios e sites institucionais, principalmente para a apresentação do exemplo de reciclagem de alumínio no Brasil.	Demonstra que a transição para cidade circular é viável em qualquer tipo de cidade, seja por meio de <i>cluster</i> de circularidade ou por meio de redes de cidades.

Quadro 02: Matriz de amarração metodológica (Adaptada de Pedron et al, 2019)

Fonte: Elaboração própria (2022).

3. CAMINHOS DA ECONOMIA CIRCULAR

3.1 REVISÃO DE LITERATURA

A economia circular tem foco na aplicação de princípios que contribuem para a diminuição de extração de recursos naturais e para que o máximo de recursos que sobra de processos de produção ou de consumo seja utilizado como matéria-prima de novos processos. Nesse contexto, este capítulo busca atender ao objetivo específico de “identificar os principais requisitos e estratégias da economia circular”. A contribuição do capítulo para a tese é de que a base teórica e as discussões realizadas nele contribuem para que, na sequência da pesquisa, se desenvolva os conteúdos relacionados à implementação da economia circular na cidade e a viabilidade e contribuição da transição para cidade circular.

A humanidade depende de inúmeros bens e serviços da natureza cuja demanda cresce constantemente (RESS, 1997) e impacta os ecossistemas, transformando processos naturais cíclicos em acíclicos. A conservação de recursos naturais contribui para que esses processos se tornem cíclicos novamente (ODUM, 1953). No entanto, quanto mais aumenta o consumo e a industrialização no mundo, menos cíclicos os ecossistemas do planeta se tornaram.

Em 2017, por exemplo, foi a primeira vez que a humanidade consumiu mais de 100 bilhões de toneladas de materiais, taxa de consumo anual que tem sido mantida desde então. Como resultado disso, entre 2015 e 2021, a economia global consumiu mais de meio trilhão de toneladas de recursos virgens, o que representa 70% a mais do que o planeta consegue prover, dentro desse período, sem comprometer os serviços ambientais. Paralelo a isso, a taxa de circularidade global (quantidade de recursos que retornam à economia após o fim-de-vida do produto) caiu de 9,1% em 2018 para 8,6% em 2020 (CIRCLE ECONOMY, 2022; IPCC, 2022).

Esses números são resultados de uma economia linear, sistema contínuo de extração de matéria-prima e descarte que gera escassez de recursos naturais, acúmulo de resíduos e – consequente - degradação ambiental. Em contraste a isso, a economia circular promove otimização no uso de recursos por meio de princípios cujas estratégias de implementação prolongam o ciclo de vida de materiais e produtos. Pode-se afirmar que, enquanto o modelo vigente de economia linear contribui para o aumento da pegada ecológica⁴, a economia circular diminui a pegada.

⁴ Indicador que relaciona a biocapacidade (capacidade que uma área tem de produzir biomassa) com o nível de consumo de produtos e serviços. Ou seja, é o quanto de terra produtiva é consumida para manter um determinado estilo de vida (REES, 1992).

Estudo realizado por GHISELLINI et al (2016) mostra que a origem da economia circular ocorre com trabalhos publicados por um grupo de pesquisadores da ecologia industrial⁵ que passa a publicar, a partir de 1989, estudos a respeito da reciclagem de resíduos pela indústria. Um desses pesquisadores era FROSHC (1992), segundo o qual, havia necessidade de redesenhar o *design* de produtos e de processos de produção com foco em contribuir para relações industriais que aproveitassem o potencial de resíduos dentro de uma rede, permitindo o que EHRENFELD e GERTLERDE (1997, p. 67) chamam posteriormente de “trocas de resíduos e energia entre empresas em um sistema fechado”.

Concomitante a esses estudos, em 1994, o Conselho Alemão de Especialistas em Problemas Ambientais estabeleceu que as questões ambientais deveriam ser enfrentadas por meio de estratégias que contribuíssem para a integração entre os processos de produção e os ciclos naturais desde o início da cadeia de fornecimento, buscando-se preservar a cadeia de recursos naturais da qual a estrutura econômica dependia. Assim, foi instituída a “lei da economia circular”, que modificou a legislação alemã de resíduos (STREBEL, 2004). Além da Alemanha, o Japão também aplicou estratégias de economia circular a partir da década de 1990 e, com o passar dos anos, foi a China que se tornou celeiro de casos e publicações acerca de economia circular (DAJIAN, 2004; YONG, 2007).

A China se tornou um “laboratório” de estratégias de economia circular para mitigar os conflitos existentes entre as necessidades de crescimento econômico e de diminuição de poluição e o uso de recursos naturais. As estratégias de economia circular aplicadas por esse país envolveram diversos níveis de abrangência. Entre os anos de 1990 e 2005, a China mobilizou instituições públicas e atores sociais; desenvolveu legislação e políticas de alcance nacional para implementar estratégias de redução, reutilização e reciclagem; apoiou pesquisas sobre economia circular; e lançou projetos que envolveram a instauração de treze parques industriais, construção de regiões de reciclagem em dez cidades e implantação de quarenta e três empreendimentos pilotos (LI, 2013; WU, 2014; YONG, 2007).

Dessa forma, nasce a área de estudo de economia circular, tendo como elemento propulsor a necessidade de resultados financeiros positivos para empresas e países que passam a buscar estratégias e tecnologias de fim de vida por meio da ciclagem de materiais e energia

⁵ Área que pesquisa o fluxo e a transformação de materiais e de energia, buscando analisar e projetar sistemas industriais que atendam necessidades de manufatura e consumo com menor impacto ambiental. Se divide em três níveis: micro (da firma), meso (entre empresas) e macro (regional) (BALDASSARRE et al 2019; LIFSET, 2002).

para a busca de eficiência em face do aumento dos preços dos materiais e das mudanças climáticas (PRENDEVILLE et al, 2017).

A primeira publicação com a palavra-chave “economia circular” na base de dados *Scopus* é datada do ano de 2001, “*Current status of home electric appliances recycling in Japan*”, e trata da reciclagem no setor elétrico no Japão. O surgimento da economia circular se dá, portanto, em um ambiente de relação intrínseca entre prática e teoria. Isso contribuiu para o aumento dos estudos sobre essa temática e, notadamente, para o salto de publicações dos últimos quatro anos (figura 3).



Figura 3: Número de publicações de “economia circular”.

Fonte: Elaboração própria com base em informações retiradas do *Scopus* (2022).

O quadro 03 apresenta a produção acadêmica com a palavra-chave “economia circular” nas bases de dados científicos *Scopus* e *Web of Science*, tendo como requisito de pesquisa que fossem somente artigos ou revisões e que a palavra-chave estivesse presente em títulos, resumo ou palavras-chave.

Bases de Dados	Artigos ou revisões	Pesquisadores que mais publicaram	Instituições de Filiação que mais publicaram
<i>Scopus</i>	12.490	Geng, Y (46) Kumar A. (46) Liu Y. (39)	- Universidade Tecnológica Delft (203) - Consiglio Nazionale delle Ricerche (192) - Consejo Superior de Investigaciones Científicas CSIC (184)
<i>Web of Science</i>	12.960	Kazancoglu, Y. (31) Ramakrishina S. (31)	

		Klemes, J. J. (28) Lundstrom, M. (27)	- Centre National de la Recherche Scientifique CNRS (153) - Academia Chinesa de Ciências (141)
--	--	--	---

Quadro 03: Artigos com a palavra-chave “economia circular” nas bases *Scopus* e *Web of Science*.
Fontes: *Scopus* e *Web of Science* (jun. de 2022).

As revistas científicas que mais publicam artigos a respeito de economia circular⁶ são *Journal of Cleaner Production* (1.144), *Sustainability Switzerland* (1.136), *Resources Conservation and Recycling* (460), *Science of the Total Environment* (241), *Waste Management* (239).

Revisão bibliométrica realizada por HOMRICH et al (2018) com 327 artigos a respeito do conceito de economia circular demonstrou que, dentre os autores e artigos de maior nível de impacto, haviam sido apresentados dezessete conceitos diferentes para o termo entre os anos de 2004 e 2015. Em comum, eles têm a concepção de que a economia circular deve contribuir para diminuir o uso de recursos naturais. Estudo realizado por SEHNEM et al (2019) demonstrou que, mesmo em face do grande quantitativo de produção sobre economia linear, há ainda, confusões de conceitos, lacunas e sobreposições entre o conceito de economia circular e o de demais abordagens não lineares.

O quadro 04 apresenta conceitos de economia circular que foram selecionados na revisão de literatura desta pesquisa. Dentro do quadro, é apresentada uma breve análise de cada conceito selecionado, buscando-se demonstrar a contribuição desse para a construção da teoria acerca da economia circular.

Conceito	Autor	Análise do Conceito elaborada pela autora da tese
A economia circular busca maximizar os serviços funcionais dos recursos com o intuito de aumentar o seu ciclo de vida de tal forma que, ao invés de ser descartado, o resíduo de um processo produtivo se transforma em um novo produto ou em um material secundário que será incorporado a outro produto.	DJIAN (2004)	Este conceito é exemplo de como, no começo dos estudos acerca de economia circular, o foco das estratégias se concentrava em práticas de propiciassem a reciclagem de resíduos do processo produtivo. Tal visão foi apenas o início, pois economia circular não é sinônimo de reciclagem, indo muito além das estratégias relacionadas a esse princípio.
A economia circular define a sua missão resolvendo problemas de redução do fluxo de materiais, fazendo o balanceamento de fluxo entre o ecossistema e o sistema socioeconômico. A abordagem inclui reestruturar o fluxo de material da abordagem linear para a circular, transformando resíduos em novos recursos, aumentando a eficiência de utilização de recursos e reduzindo a intensidade das emissões.	YONG (2007)	Aqui, já se tem um conceito que evolui para reduzir, reutilizar e reciclar resíduos de processos de produção e consumo. Esse é o início da “Estrutura R” da economia circular. Sendo que reciclar e reutilizar são os primeiros passos de transição para a economia circular, como será visto posteriormente. O conceito também estabelece uma relação direta entre as dimensões ambiental e econômica.

⁶ Revisão feita em junho de 2022 na base de dados *Scopus*.

<p>A economia circular é projetada (<i>by design</i>) para ser restauradora e regeneradora, possuindo ciclos técnicos e biológicos com o objetivo de manter a maior utilidade e valor de produtos, componentes e materiais em todos os momentos.</p>	<p>EMF (2015)</p>	<p>O conceito da Fundação Helen MacArthur (EMF) mostra a preocupação de que estratégias de economia circular envolvam projetos de desenvolvimento de produto. Sendo esse um pressuposto fundamental para que sejam aplicadas estratégias de ciclos fechados e de ciclos vagarosos.</p>
<p>É um sistema econômico de troca e produção destinado a aumentar a eficiência do uso de recursos e diminuir os impactos no meio ambiente em todos os estágios do ciclo de vida do produto e pode ser aplicado na manufatura e na gestão de serviços com o objetivo de reduzir o desperdício de recursos, a fim de dissociar o consumo de recursos do crescimento.</p>	<p>ADEME (2015)</p>	<p>O conceito da Agência de Meio Ambiente de Paris (ADEME) mostra a economia circular como um meio de promover troca de recursos naturais que permite crescimento econômico aliado a redução de impactos ambientais. Esse conceito foi selecionado por advir de um agente prático que está implementando estratégias em nível de cidade (macro), projeto “Paris Circular”.</p>
<p>A economia circular descreve um sistema econômico baseado em modelos de negócios que substituem o conceito de 'fim de vida' reduzindo, reutilizando, reciclando e recuperando materiais nos níveis micro, meso e macro; visando aumentar a eficiência do uso de recursos para alcançar maior equilíbrio e harmonia entre economia, meio ambiente e sociedade.</p>	<p>GHISELLINI, CIALANI, ULGIATI (2016)</p>	<p>O conceito também enfatiza a relação entre meio ambiente e desenvolvimento econômico, ressaltando que as suas estratégias aumentam a eficiência dos recursos tanto no âmbito urbano (consumo) quanto no industrial (produção).</p>
<p>A economia circular é aquela que envolve ciclos fechados (<i>closed loops</i>) com ciclos tecnológicos, biológicos e de montagem e desmontagem; e ciclos vagarosos (<i>slowing loops</i>), focados no aumento da vida útil.</p>	<p>BOCKEN et al (2016)</p>	<p>O conceito mostra que as estratégias da economia circular abrangem ciclo fechado (berço-ao-berço), quando o resíduo de um processo produtivo se torna matéria prima; e ciclos vagarosos. Esses últimos abrangem estratégias de uso e reuso como extensão da vida útil; facilidade de adaptação, montagem, desmontagem, remontagem e conserto; compatibilidade com outros produtos e tecnologias; e compartilhamento.</p>
<p>Sistema econômico que substitui o conceito de 'fim de vida' por reduzir, reutilizar alternativamente, reciclar e recuperar materiais nos processos de produção, distribuição e consumo; envolvendo níveis micro, meso e macro com o objetivo de alcançar desenvolvimento sustentável, qualidade ambiental e econômica, prosperidade e equidade social em benefício das gerações atuais e futuras.</p>	<p>KIRCHHERR et al (2017)</p>	<p>Conceito atribuído pelos autores depois da análise de 114 conceitos de economia circular publicados em estudos científicos. Verifica-se que neste conceito, os autores agregam os três níveis de atuação da economia circular e acrescentam que ela deve abranger também fins sociais além dos econômicos.</p>
<p>A economia circular é um modelo econômico em que planejamento, recursos, compras, produção e reprocessamento são projetados e gerenciados, como processo e produção, para maximizar o funcionamento do ecossistema e bem-estar humano.</p>	<p>MURRAY, SKENE e HAYNES (2017)</p>	<p>O conceito apresenta uma ótica de que há uma cadeia de gestão que deve ser executada para que se tenha os benefícios propostos pela economia circular.</p>
<p>Economia circular é aquela que é construída a partir de um sistema produção-consumo que busca maximizar e tornar circular a relação natureza-sociedade-natureza, de tal forma que a ciclagem de materiais e energia permita uma taxa de transferência de fluxos a um limite tolerável, contribuindo para que o ciclo</p>	<p>KORHONEN, HONKASALO e SEPPÄLÄ (2018)</p>	<p>Este conceito em <i>latu sensu</i> e tem de novo o forte viés da relação entre economia circular, desenvolvimento sustentável e economia com foco na relação produção-consumo. O conceito apresenta a ideia de que as estratégias de economia circular</p>

abandonar a função de um produto ou tê-la de outra maneira; b) repensar, tornar o uso do produto mais intensivo (compartilhamento) ou dar mais funções ao produto; c) reduzir, aumentar a eficiência de recursos ou diminuir o uso deles; d) reutilizar, reutilização do produto descartado em funcionamento na mesma função por um usuário diferente; e) reparar, consertar produtos defeituosos para que a função original possa ser preservada; f) reformar, recondicionar produtos antigos para trazê-los atualizados; g) remanufaturar, usar os componentes funcionais do produto para fazer produtos comparáveis; h) reaproveitar, usar o produto ou seus componentes em um novo produto com função diferente; i) reciclar, usar os materiais de um produto para aplicação em outro produto; e j) recuperar, incinerar materiais com recuperação de energia (CIRCLE ECONOMY AND THE CITY OF AMSTERDAM, 2020).

Os princípios da “estrutura R” da economia circular são atendidos por meio da implementação de estratégias que podem ser estruturadas em três níveis. O primeiro deles envolve medidas iniciais para começar a transição da economia linear para a circular; nele estão as estratégias de otimização no uso de recursos, contidas nos princípios de reciclar materiais e recuperar energia. No nível dois, há o aumento da vida útil de produtos e de suas partes com os princípios de reutilizar, reparar, reformar, remanufaturar e reaproveitar. No nível três, estão as estratégias mais avançadas de economia circular; envolvendo repensar, recusar e reduzir (KIRCHHERR et al, 2017). As estratégias de economia circular também podem ser desenvolvidas em nível micro (firma); nível meso (entre empresas); e nível macro (cidade, região ou país) (DJIAN, 2004; ZHU, GENG e LAI, 2011; KIRCHHERR et al, 2017).

Nos ciclos fechados (*closed loop*) da economia circular, realiza-se o berço-ao-berço (*cradle to cradle*). Neles, há reaproveitamento de recursos (componentes, materiais e/ou energia) após a vida útil do produto; e os princípios envolvidos são recuperar, reciclar, reaproveitar e remanufaturar. Os estágios mais avançados da transição para economia circular são realizados por meio de estratégias de ciclos vagarosos (*slowing loop*); que aumentam a função do produto e/ou extensão de sua vida útil, diminuindo a necessidade de manufaturar novos produtos e extrair matérias-primas virgens. Ciclos vagarosos abrangem princípios de reformar, reparar, reutilizar, reduzir, recusar e repensar (BOCKEN et al, 2016; KIRCHHERR et al, 2017; PRENDEVILLE et al, 2017; KJAER et al, 2018; MORAGA et al, 2019). Destarte, pode-se simplificar dizendo que as estratégias de ciclo fechado são as que promovem “berço ao berço”, e as estratégias de ciclos vagarosos são aquelas que contribuem para estender a vida útil de um produto ou material.

Os princípios da “estrutura R” podem ser aplicados a materiais orgânicos ou inorgânicos. Os fluxos orgânicos, ou ciclos biológicos, se relacionam a alimentos e demais materiais de base biológica - como águas pluviais e lodo de tratamento de esgoto, por exemplo - cuja ciclagem pode fornecer recursos renováveis para a economia (EMF, 2018). Em ecossistemas naturais, resíduos orgânicos se degradam espontaneamente. Em ambientes urbanos ou industriais, a disposição inadequada pode provocar impactos ambientais negativos e danos à saúde humana (MMA, 2017).

Fluxos orgânicos podem gerar valor por meio da economia circular envolvendo os princípios de recuperar, reciclar, reutilizar, reduzir, recusar e repensar. Exemplos de estratégias de economia circular que podem ser implementadas em ciclos orgânicos, são compostagem de resíduos para geração de adubo e fertilizantes, biodigestão para geração de energia, aproveitamento integral e reaproveitamento de alimentos e busca por produtos da agricultura local e de época.

Os fluxos não-orgânicos se dão por meio de ciclos técnicos que podem ser aplicados a produtos, componentes e materiais por meio de estratégias de economia circular (EMF, 2018). Plástico, vidro e metais são exemplos de materiais não-orgânicos. As estratégias de economia circular para ciclos não-orgânicos permeiam todos os princípios da estrutura “R”.

As estratégias de economia circular promovem extensão de valor de uso do recurso - *extending resource value* – (ERV), onde os materiais contidos em um produto vão além da vida útil dele. Para que isso ocorra, o projeto de produto precisa atender a critérios de durabilidade; diminuição de recursos utilizados; uso de materiais sustentáveis e reciclados; e facilitação de processos de montagem, desmontagem e reuso (DJIAN, 2004; EMF, 2013; BAKKER, 2014; HAAS, 2015; BOCKEN, 2016; RIOS e CHARNLEY, 2017). O projeto do produto influencia diretamente a maneira como a sua cadeia de valor será administrada para que se possa aplicar nele as estratégias de economia circular (RIOS e CHARNLEY, 2017). O quadro 05 foi resultado da revisão de literatura realizada nesta pesquisa e mostra o exemplo de estratégias relacionadas a cada um dos princípios da “estrutura R” da economia circular.

Princípios da estrutura “R”	Estratégias	Fontes
Recusar	Sistemas de serviços/produtos - <i>Product/Service-Systems</i> (PSS) ⁸ - em modelos de negócios que vendem resultados e serviços no lugar de comercialização de produtos; como serviço de lavanderia por exemplo.	KJAER et al (2018)
	Diminuição de consumo.	DJIAN (2004); EMF (2013); MORENO (2016)
	Taxação de produtos, tecnologias e recursos que são externalidades negativas.	KALMYKOVA, SADAGOPAN e ROSADO (2018)
	Desmaterialização de produtos e serviços(virtualização); venda de livros digitais, por exemplo.	KALMYKOVA, SADAGOPAN e ROSADO (2018)
Repensar	PSS de uso orientado, envolve modelos de negócios colaborativos com estratégias de compartilhamento, troca, empréstimos e aluguel. Como exemplo, serviço de compartilhamento de carro.	GHISELLINI (2016); BOCKEN (2016); MORENO (2016); KJAER et al (2018); SCARPELLINI et al (2019); KALMYKOVA, SADAGOPAN e ROSADO (2018); COHEN MUÑOZ (2016)
Reduzir	Metodologias de projeto de produto com foco que, desde a concepção do projeto de produto, esse tenha característica que contribuam para a dimensão ambiental da sustentabilidade, também conhecida como <i>ecodesign</i> , trata-se do <i>design for environmental</i> (DFE).	DJIAN (2004); ZHU (2011); WINKLER (2011); BAKKER (2014); HAAS (2015); EMF (2013); SAUVÉ (2016); BOCKEN (2016); MORENO (2016); (RIOS e CHARNLEY, 2017); SARKIS e ZHU (2008); SCARPELLINI et al (2019); KALMYKOVA, SADAGOPAN e ROSADO (2018); DESPEISSE et al (2017)
	Aumento da vida útil de produtos (<i>Design for long life extension</i>)	DJIAN (2004); BAKKER (2014); EMF (2013); GREGSON (2015); BOCKEN (2016); (RIOS e CHARNLEY, 2017)
	Diminuição de uso de embalagens e reutilização de embalagens.	DJIAN (2004); KALMYKOVA, SADAGOPAN e ROSADO (2018); DAHLBO (2018)
Reutilizar	Uso de refis para produtos.	DJIAN (2004)
	Retorno de embalagens e de resíduos para fábricas e comércio.	DJIAN (2004); WINKLER (2011), WUBBEKE (2014); BAKKER (2014)
	Atribuição de novas utilidades para produtos já utilizados em sua atribuição principal.	DJIAN (2004); EMF (2013); YOUNG (2007)
	<i>Upcycling</i> , converte material em novos materiais que passam a ter maior qualidade ou funcionalidade.	DJIAN (2004); BOCKEN (2016); HOSSAIN e THOMAS (2019); KALMYKOVA, SADAGOPAN e ROSADO (2018)
	Estímulos para mercado de produtos usados.	SCARPELLINI et al (2019); KALMYKOVA, SADAGOPAN e ROSADO (2018)
Reparar	PSS orientado para o produto, onde os produtos são vendidos com serviços adicionais de manutenção.	KJAER et al (2018)
Reformar	Reforma de produtos eletrônicos para revenda.	VAN WEELDEN (2016); BOCKEN (2016); MORENO (2016)
Re-manufaturar	“ <i>take-back systems</i> ” e “ <i>trade-in systems</i> ”, sistemas eficientes de devolução onde os produtos são re-manufaturados após o final da vida útil e podem ser revendidos.	WANG e HAZEN (2016); JIANG et al (2019); KALMYKOVA, SADAGOPAN e ROSADO (2018);

⁸ PSS é um pacote integrado de produtos tangíveis e serviços intangíveis oferecidos em conjunto por empresas com foco em atender necessidades e resolver problemas de clientes (BOEHM e THOMAS, 2013).

Reaproveitar	Subprodutos de outros processos de fabricação e suas cadeias de valor correspondentes são usados como matéria-prima para fabricação de novos produtos	KALMYKOVA, SADAGOPAN e ROSADO (2018)
	<i>Downcycling</i> , processo de conversão de produtos usados em diferentes produtos novos, de menor qualidade ou funcionalidade reduzida.	KALMYKOVA, SADAGOPAN e ROSADO (2018)
Reciclar	Promoção de reciclagem primária e secundária.	DJIAN (2004); WINKLER (2011); ITOIZA (2014); WUBBEKE (2014); HAAS (2015); EMF (2013); GREGSON (2015); (BOCKEN, 2016); MORENO (2016); FERRANATO et al (2019)
	Gestão de resíduos e programas zero-resíduos.	GHISELLINI (2016), YOUNG (2007); SCARPELLINI et al (2019); FERRANATO et al (2019)
	Mineração urbana	WUBBEKE (2014)
	Criação de redes de reciclagem com apoio a catadores, e com empresas de pontos de coleta e de plantas de reciclagem.	GREGSON, FULLER e HOLMES, 2015); FERRANATO et al (2019), ZELLER et al (2018)
	Implementação de separação de alta qualidade do lixo doméstico.	SCARPELLINI et al (2019); KALMYKOVA, SADAGOPAN e ROSADO (2018)
	Recuperação de lodo de esgoto urbano para geração de insumos para fertilizantes e para energia.	KACPRZAK et al (2017)
Recuperar	Produção de energia a partir de subprodutos e/ou recuperação de calor residual para apoiar a operação da instalação.	KALMYKOVA, SADAGOPAN e ROSADO (2018); MALINAUSKAITE et al (2017)
	Simbiose urbana industrial, que pode ser tanto para a recuperação de energia quanto para a reciclagem de resíduos.	SUN et al (2017)
	Eficiência energética na produção e no uso de produtos e serviços	KALMYKOVA, SADAGOPAN e ROSADO (2018)

Quadro 05: Princípios e estratégias para a transição para a economia circular.

Fonte: Elaboração própria com base na revisão de literatura.

A implementação dessas estratégias requer a união de diversos agentes sociais envolvidos em negócios circulares, cadeia de suprimentos circular e estrutura de governança. BOCKEN et al (2016) conceituam negócio circular como aquele que permite maneiras economicamente viáveis de reutilizar continuamente produtos e materiais, usando recursos renováveis sempre que possível e se estruturando por meio de sistemas de serviços/produtos (PSS) para que se desenvolvam estratégias de ciclo fechado ou de ciclo vagaroso. De acordo com KJAER et al (2018), os PSS contribuem para a realização de ciclos vagarosos, unindo aos produtos um conjunto de serviços que pode contribuir para maximizar as funções do produto e/ou prolongar a vida útil.

Modelos de negócios circulares realizam PSS e, por isso, contrastam com os lineares tradicionais. Em negócios circulares, a geração de lucros migra da venda de produtos para o fluxo de materiais e produtos ao longo do tempo. Assim, modelos de negócios circulares permitem maneiras economicamente viáveis de reutilizar continuamente produtos e materiais

por meio do desenvolvimento eco-industrial preventivo e regenerativo. Modelos de negócios e projetos de produtos para ciclos vagarosos buscam fazer com que o produto tenha durabilidade (*design for product long life*) ou estender a sua vida útil (*design for product life extension*) por meio de intervenções como reparos, remanufatura ou facilidade de receber atualização (*upgrades*); isso resulta na desaceleração do fluxo de recursos. Negócios que atuam em ciclo fechado têm foco principal em reciclagem, de tal forma que o pós-uso leva o produto ou suas partes de volta ao processo de produção, resultando em um fluxo circular de recursos (GHISELLINI et al, 2016).

Muitas empresas estão percebendo que é melhor manter os recursos que usam em circulação por mais tempo por meio de modelos de negócios onde projetos de produtos e serviços se combinam com a inovação (EMF, 2018). Exemplos de negócios circulares que promovem ciclos vagarosos são empresas que consertam e revendem produtos; e que promovem o acesso a serviços e produtos sem que seja necessário adquirir um bem, como aluguel e compartilhamento. Empresas que desmontam produtos e vendem suas partes para fábricas são exemplos de negócios de ciclo fechado. O conceito de responsabilidade alargada do produtor (EPR) faz com que os produtores sejam responsáveis pelo impacto de seus produtos na cadeia de fornecimento (*upstream*), e pelos impactos do descarte de produtos (*downstream*). Isso propicia o surgimento de negócios circulares, gera benefícios que impedem a perda de materiais valiosos, cria empregos, gera crescimento econômico, diminui desperdício e reduz emissões de carbono e extração de recursos (BOCKEN et al, 2017; HOBSON, 2016).

Cadeia de suprimentos circular é aquela que utiliza estratégias de logística reversa para aplicar princípios da economia circular (NASIR et al, 2017). Cadeias de suprimentos circulares necessitam de redes sustentáveis de suprimentos (*sustainable supply chain networks*) para que ocorram fluxos entre empresas em uma estrutura de economia circular, sendo que a análise do ciclo de vida (ACV) é um requisito de interação entre os agentes da cadeia (WINKLER, 2011). A aplicação dos princípios de economia circular na cadeia de suprimentos aumenta a intensidade de uso de recursos, gerando mais valor dos recursos iniciais (GREGSON, 2015), de tal forma que a cadeia de suprimentos circular e a localização dos atores sociais envolvidos na estratégia é um ponto chave de sucesso para estratégias de economia circular. Conforme será visto no capítulo sete da tese.

Governança é a regulamentação das relações interdependentes entre diversos atores sociais, abrangendo instituições, políticas, normas, procedimentos e iniciativas que buscam resposta a desafios em comum (UNITED NATIONS, 2014). A transição para a economia

circular ocorre dentro de uma estrutura complexa envolvendo agentes sociais (instituições públicas, empresas e clientes/consumidores) e modelos de negócio regionais (SCHEEPENS (2016). Destarte, governança é necessária para que ocorra a interação entre os agentes sociais para o funcionamento das estratégias de economia circular.

A implementação de estratégias de transição para a economia circular tem requisitos a serem atendidos e desafios a serem superados. No contexto desta tese, requisito é aquilo que precisa ser feito para o alcance de um resultado, a implementação de uma estratégia ou a superação de um desafio (dificuldade posta à realização de uma atividade). Os principais requisitos e desafios à transição para economia circular que foram identificados na revisão de literatura são apresentados no quadro 06, que está organizado nas seguintes áreas: políticas públicas, tecnologia, governança e produção.

Dimensões	Desafios	Requisitos à transição	Autores
Políticas públicas	<ul style="list-style-type: none"> - Barreiras ao uso de produtos reciclados como matéria-prima - Falta de legislação e regulamentação (normatização, certificações, padronização, etc) - Os estoques de resíduos aumentam a taxas mais altas que a estrutura para reciclagem - Falta de incentivos financeiros para financiamento de iniciativas de economia circular, como baixo custo de matérias virgens. 	<ul style="list-style-type: none"> - Implementação de legislação. - Incentivos fiscais. - Coordenação de políticas públicas e liderança do setor público nos programas para economia circular - Eliminação de políticas contraditórias - Melhoria da estrutura de centros de reciclagem - Criação de instrumentos de regulamentação como, por exemplo manuais e padronização de qualidade de resíduos - Incentivos para a importação de resíduos e facilitação de licenças de importação. - Incentivos para reestruturação / adaptação de plantas ou polos industriais - Incentivos para o retorno de resíduos e embalagens (<i>taking back end-of-life products</i>) - Incentivos à criação de mercados de reciclagem - Políticas de incentivo a negócios circulares com proximidade regional; Mudança na estrutura, estratégia e cultura organizacional que propiciem produtos e materiais que realmente sejam substitutos às alternativas de produção primária com qualidade, preço competitivos às alternativas primárias. 	HAAS (2015); CIRCLE ECONOMY (2016); TURA et al (2019); FERRANATO et al (2019), SCARPELLINI et al (2019); KIRCHHERR (2018); RANTA et al (2018); LEI (2004); YONG (2007);EMF (2015); ZHU (2011); HOBSON (2016); SARKIS e ZHU (2008); WUBBEKE (2014); SARKIS e ZHU (2008); KALMYKOVA et al (2018); WU (2014); GHISELLINI (2016); MAYER et al (2018); TINGLEY e CULLEN (2017); WITJES (2016); BOCKEN (2016); MORENO (2016); RIZO et al (2016); FRATINI, GEORG, e JØRGENSEN (2019); BALDASSARRE (2019); SCHROEDER et al (2018); GEISSDOERFER et al (2018); LINDER e WILLIANDER (2017); RIZO et al (2016); ZINK e GEYER (2017).
Tecnologia	<ul style="list-style-type: none"> - Assimetria do conhecimento, por exemplo, o conhecimento sobre a disponibilidade e a 	<ul style="list-style-type: none"> - Incentivos à criação de mercados de reciclagem 	TURA et al (2019); SARKIS e ZHU (2008); ESPEISSE et al (2017);

	<p>qualidade dos fluxos de recursos secundários.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Desenvolvimento e domínio tecnológico, envolvendo desde bancos de dados compartilhados a inovações como impressora 3D, internet das coisas e indústria 4.0. - Desenvolvimento tecnológico que permita escalonamento comercial das iniciativas de economia circular. 	<ul style="list-style-type: none"> - Estabelecimento de um sistema integrado de indicadores de avaliação e acompanhamento do progresso da economia circular com bancos de dados e sistemas de informação sobre fluxos de materiais e energia. - Medição de capacidades regionais e intercâmbio de conhecimento e de fluxos materiais entre regiões por meio de bancos de dados compartilhados. - Metodologia de LCA (Análise do ciclo de vida – ACV) contribui para o planejamento e controle de estratégias de economia circular. - Metodologia de MFA contribuem para o planejamento e controle de estratégias de economia circular, pois pode ser indicador ambiental do nível de desempenho das estratégias de economia circular em escala macro, principalmente. <p>Análise de fluxo de material em toda a economia (EW-MFA)</p>	<p>CIRCLE ECONOMY (2016); HAAS (2015); FERRANATO et al (2019); LEI (2004); YONG (2007); MAYER et al (2018); ELIA et al (2017); HUYSMAN et al (2017); SCARPELLINI et al (2019); TINGLEY e CULLEN (2017); RIZO et al (2016); ITOIZA (2014); WINKLER (2011); SAUVÉ (2016); SCHEEPENS (2016); DADDI et al (2017); MORAGA et al (2019); CORCELLI (2019); BALDASSARRE (2019); HOSSAIN e THOMAS (2019); NIERO e KALBAR (2019); KALMYKOVA et al (2018); HAUPT et al (2016); KACPRZAK et al (2017); WUBBEKE (2014); WEN (2015); KALMYKOVA (2016); SUN et al (2017); LI (2013).</p>
Produção	<ul style="list-style-type: none"> - O uso de energia de fontes fósseis para a reciclagem. - Foco em modelos lineares de negócios e de estratégias de produção. - Muitos produtos têm projeto para durar pouco tempo e são de difícil manutenção e reparo. - Custo mais alto de alguns produtos reciclados. - Fragmentação da indústria. - Falta de infraestrutura para todos os tipos de mercado que a natureza econômica da economia circular exige: bens finais, bens em fim de vida, sucata não processada, sucata semiprocessada, materiais reciclados, produtos reconicionados e produtos reparados em segunda mão. - “Produtos da economia circular” competem diretamente com produtos primários, oriundos de matéria-prima virgem. 	<ul style="list-style-type: none"> - Produção mais limpa - Extensão de valor dos recursos - <i>extending resource value</i> (ERV) - Simbiose industrial - Controle de qualidade e certificação - Cadeia de suprimentos circular - Capacitação de profissionais operacionais em toda a cadeia, desde o desenvolvimento do produto (<i>eco-design</i>), até a produção e reciclagem. - Padrões internacionais de produtos precisam ser alterados para desenvolver produtos que duram mais e são mais fáceis de reparar e renovar. - Uso de energia renovável nos processos de reciclagem. 	<p>HAAS (2015); TURA et al (2019); SCHROEDER et al (2018); SCARPELLINI et al (2019); WUBBEKE (2014), BOCKEN et al (2016); ZINK e GEYER (2017); GHISELLINI (2016); SARKIS e ZHU (2008); MORENO (2016); BALDASSARRE et al (2019); MAYER et al (2018), KALMYKOVA et al (2018); DESPEISSE et al (2017); SCARPELLINI et al (2019); TINGLEY e CULLEN (2017); EMF (2013).</p>
Governança	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de foco na dimensão social, a reciclagem é vista como um subtrabalho, por exemplo. 	<ul style="list-style-type: none"> - A cooperação da cadeia de suprimentos sustentável (ESCC), com parceria entre clientes, 	<p>KIRCHHERR et al (2017); RANTA et al (2018); KIRCHHERR (2018); HAAS (2015),</p>

	<ul style="list-style-type: none"> - Poucos projetos de demonstração em larga escala e falta de dados sobre os resultados e impactos. - Falta infraestrutura eficiente, como exemplo a estruturação da cadeia de suprimentos. - Falta de cultura de cooperação entre os atores sociais envolvidos nas iniciativas de transição para economia circular. - Interação com os consumidores e baixa cultura de busca de produtos de “economia circular” por parte dos consumidores, que preferem produtos novos. - Falta de informação a respeito de projetos, estruturas e produtos de economia circular. 	<p>empresas e fornecedores na gestão ambiental e foco na eco-eficiência.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Mobilização de atores sociais do setor público. - Transformação de clientes em fornecedores utilizando logística reversa. - Relações ganha-ganha entre as partes com extensão da responsabilidade ao produtor - <i>extended producer responsibility</i> (EPR), extensão da responsabilidade para o produtor. - Envolvimento de comunidades locais. 	<p>BOCKEN et al (2016), GOVINDAN e HASANAGIC (2018); TINGLEY et al (2017); DESPEISSE et al (2017); GENOVESE et al (2017); CIRCLE ECONOMY (2016); GLADECK et al (2017), SCARPELLINI et al (2019); ZHU (2011); WUBBEKE (2014); GHISELLINI (2016); HOBSON (2016); WITJES (2016); FRATINI, GEORG, e JØRGENSEN (2019); BALDASSARRE (2019); TURA et al (2019); GEISSDOERFER et al (2018); MISHENIN et al (2018); LEI (2004); YONG (2007); ADEME (2015); WINKLER (2011); KALMYKOVA et al (2018)</p>
--	--	--	--

Quadro 06: Desafios à transição para a economia circular.

Fonte: Elaboração própria com base na revisão de literatura.

Estudo realizado por SEHNEM et al (2019) identificaram áreas de tensões entre a literatura de economia circular e demais abordagens não lineares, tais como ciclo fechado, berço ao berço e logística reversa, entre outras. Neste sentido, SEHNEM et al (2019) afirmam que a literatura de economia circular tem desafios ou pontos de tensão a serem melhor explorados, tais como os ciclos de vida prolongados, que não são citados como prioridade na literatura; a omissão da dimensão social em prol de resultados econômicos e ambientais; e as diferenças entre ciclos técnicos e biológicos.

Em continuidade a esse estudo, SEHNEM et al (2021) analisaram trinta e oito revisões sistemáticas de economia circular para identificar tendências de estudo e concluíram que a agenda de pesquisa deve avançar para temáticas de aprimoramento de conceitos; participação de organizações públicas, da sociedade civil organizada e de movimentos sociais; processos de implementação e difusão de estratégias que sejam economicamente viáveis. barreiras à transição; mecanismos de implementação dos ODS por meio da economia circular; infraestrutura de logística reversa; modelos de negócios circulares que possam promover a circularidade e a eficiência dos recursos; e pesquisas de cunho qualitativo (com mais entrevistas e métodos etnográficos e de pesquisa-ação) que envolvam áreas de gestão como recursos humanos, contabilidade e finanças, entre outras.

Conforme explicado no capítulo de metodologia desta tese, foi realizada análise bibliométrica com artigos retirados da base de dados Scopus com a palavra-chave “economia circular”, utilizando o programa SCIMAT. Essa análise teve o intuito de compreender a evolução histórica das publicações acerca desta área de estudo, bem como as principais temáticas desenvolvidas nessas publicações.

A figura 5, apresenta a evolução dos estudos de economia circular com as principais temáticas ao longo dos períodos nos quais a análise foi dividida (2001-2018, 2019, 2020 e 2021). A figura está dividida em duas partes, a primeira mostra: a) a quantidade de artigos que foram utilizados na análise de cada período; b) a quantidade de palavras-chave que foram contidas em cada período (dentro do círculo); e c) setas indicativas com a quantidade de palavras-chave que se mantiveram de um período para outro, que surgiram e que deixaram de ser citadas com incidência. A segunda parte da figura mostra uma rede onde constam palavras-chave mais utilizadas em cada período, bem como as relações entre elas, de tal forma que quanto mais forte for a linha que une as palavras, maior é a relação que se estabelece entre os termos-chave dentro dos estudos. Quanto maior o círculo referente a uma palavra, maior foi a incidência dela nos estudos.

tendência de estudos focados no ciclo de vida dos recursos. Nesse sentido, as relações do tema motor de ciclo de vida de recursos são estabelecidas com temáticas de pesquisa relacionadas a aspectos técnicos da economia circular, tais como resultados econômicos, análise de fluxo de materiais, projeto de produto e indicadores de impactos, entre outros.

Ainda de acordo com o mapa evolutivo (figura 5), observa-se que no período 2001-2018, os estudos tratavam dos aspectos econômicos da economia circular que, na sequência dos períodos de pesquisa, estabelece relações com desenvolvimento sustentável e modelos de negócios. No entanto, no período de pesquisa de 2020, já aparece o tema motor de efeitos econômicos e sociais, que no período de pesquisa seguinte (2021) se relacionam com desenvolvimento sustentável. Isso demonstra que as pesquisas começam a atentar para a dimensão social do desenvolvimento sustentável.

A análise do mapa evolutivo (figura 5) permite, assim, a inferência de que a economia circular é um campo de estudo cujas aplicações demandam de aspectos técnicos relacionados ao ciclo de vida do produto, que ela nasce com foco no ganho econômico, mas que os estudos mais recentes passam a analisar também aspectos sociais do processo de transição para a economia circular.

Nesse sentido, os diagramas estratégicos dos períodos de 2001-2018 e 2021 (figura 6), respectivamente, mostram que os aspectos sociais se constituem em tema transversal nas pesquisas.

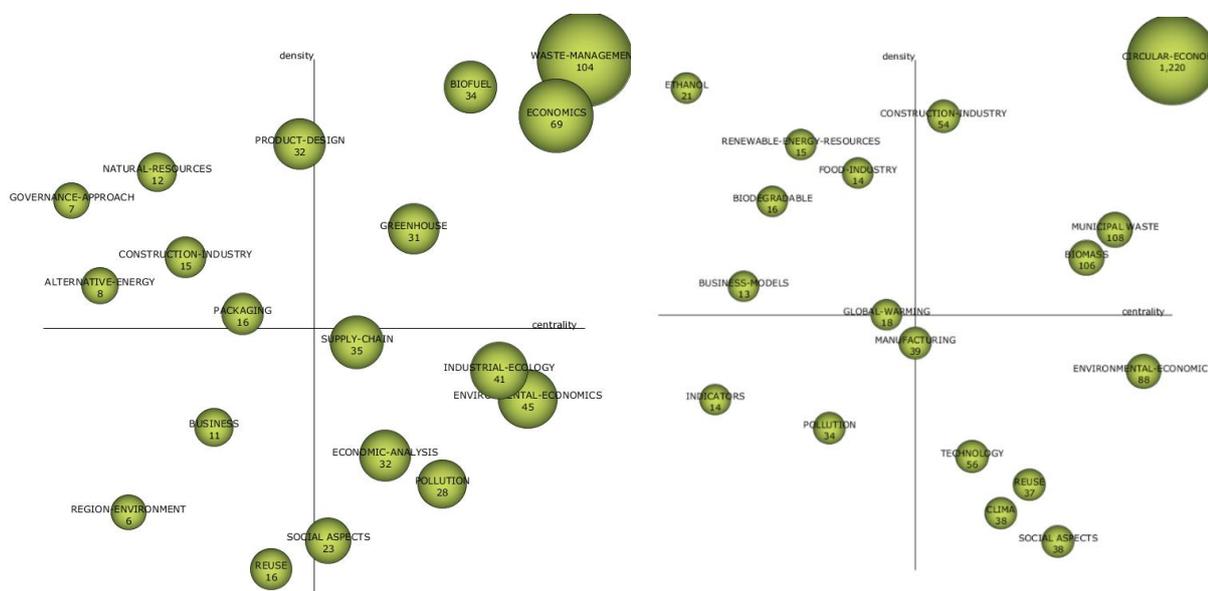


Figura 6: Diagrama estratégico - período de 2001-2018 e de 2021.
Fonte: Elaboração própria utilizando SCIMAT.

A figura 7 mostra a rede temática de benefícios econômicos e sociais, ela relaciona as palavras-chave simbiose industrial e urbana, estrutura institucional e consciência do consumidor. Enquanto a rede temática de aspectos sociais no período de pesquisa de 2021 mostra que as palavras-chave que se relacionam com a temática de aspectos sociais abordaram desde aspectos ligados a cadeia de suprimentos e segurança alimentar até a pandemia de Covid 19. Com isso, pode-se inferir que, a dimensão social da sustentabilidade passa a, nas pesquisas mais recentes, a se relacionar mais com as temáticas de economia circular, o que pode ser reflexo dos impactos sociais e econômicos advindos da pandemia,

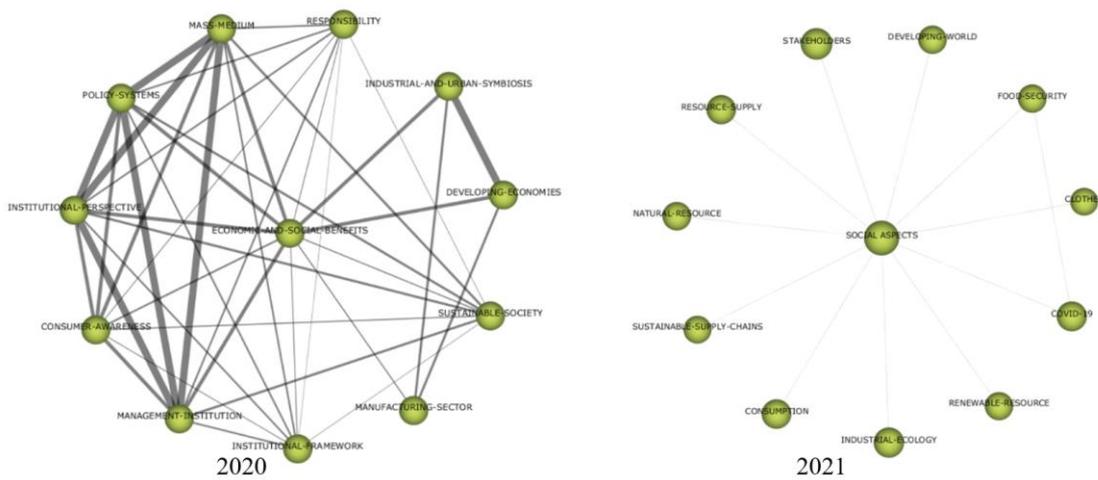


Figura 7: Rede temática de tema social dos períodos de 2020 e de 2021.
Fonte: Elaboração própria utilizando SCIMAT.

A figura 8 mostra a rede temática de Covid 19, que surgiu dentro do tema motor de aspectos sociais no período de pesquisa de 2021. Nela, é possível ver que houve pesquisas que abordaram a relação da pandemia de Covid 19 com a economia circular em relação a aspectos de impactos ecológicos, degradação e estrutura regulatória, entre outros.



Figura 8: Rede temática de Covid do período 2021.
Fonte: Elaboração própria utilizando SCIMAT.

A figura 9 mostra questões relacionadas à cadeia de suprimentos e ao consumo que são discutidas em estudos de economia circular. É possível verificar que as duas redes têm temáticas que se complementam, como a necessidade de se preocupar com o projeto do produto, respectivamente em “*circular eco-design*” e “*design method*”. Em relação à rede de consumo, especificamente, os estudos trabalham temáticas relacionadas à pegada ecológica, à economia de compartilhamento e a modelos de negócio que possam promover o consumo mais sustentável.

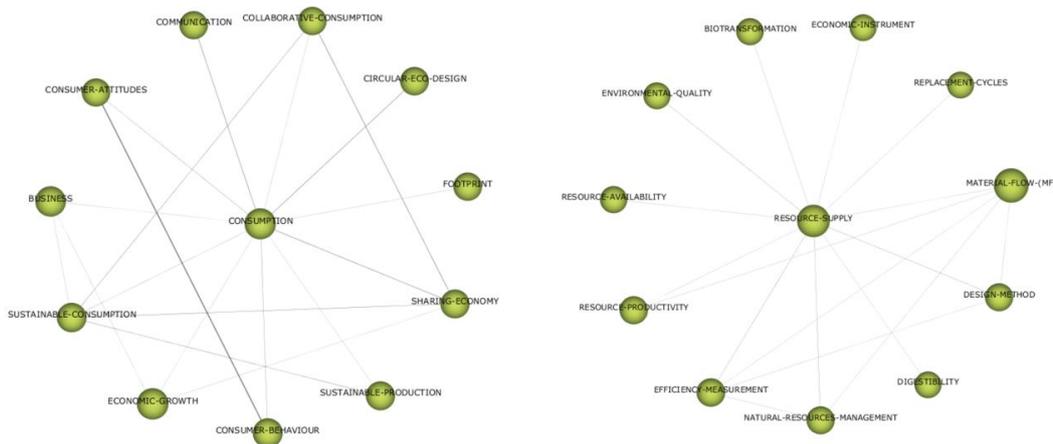


Figura 9: Redes temáticas de consumo e suprimento de recursos período 2020.
Fonte: Elaboração própria utilizando SCIMAT.

Os estudos de economia circular são bastante técnicos e, mesmo quando tratam de aspectos sociais, o fazem no sentido de como os atores sociais envolvidos, podem contribuir para a implementação das estratégias contidas nos princípios da economia circular e como isso pode contribuir para o alcance de resultados econômicos (figura 10). Havendo, assim, uma lacuna de pesquisa de estudos sobre aspectos sociais da economia circular, visto que a transição é estudada com base em aspectos técnicos e econômicos.

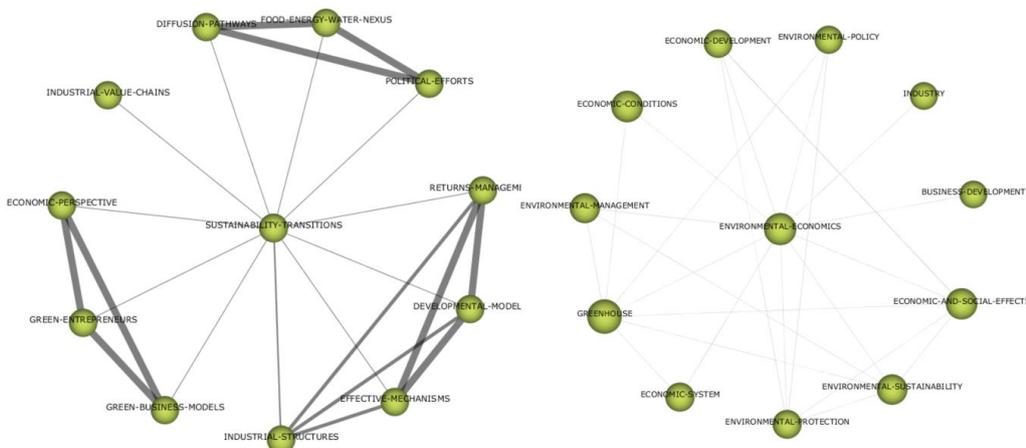


Figura 10: Redes temáticas de transição para sustentabilidade e economia ambiental período 2020.
Fonte: Elaboração própria utilizando SCIMAT.

Em relação a aspectos técnicos da transição para economia circular, o tema motor de ciclo de vida aborda aspectos relacionados a cadeia de recursos, desenho de produto, ciclo fechado e fim de vida. A figura 11 mostra as redes temáticas desses dois últimos aspectos citados.

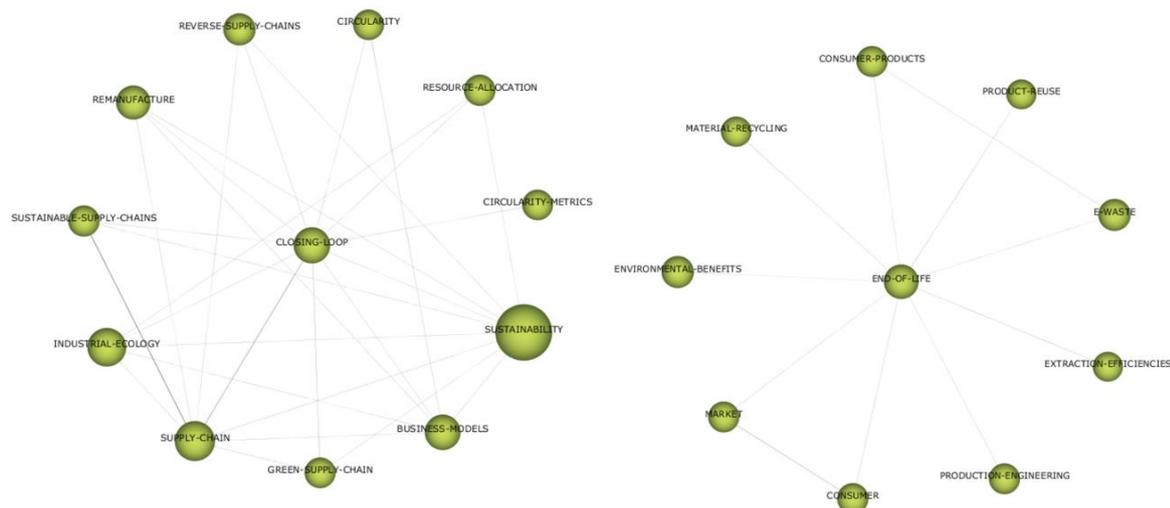


Figura 11: Redes temáticas de ciclo fechado e fim de vida no período de 2021.
Fonte: Elaboração própria utilizando SCIMAT.

Analisar os caminhos de estudo da economia circular faz com que se perceba que “transformar resíduos em recursos é um desafio no qual diferentes lógicas se chocam” (GREGSON, 2015, p. 243), onde a superação dos desafios postos à transição para a economia circular requer uma estrutura que atenda a requisitos que possam, no conjunto, eliminar ou mitigar os desafios à transição. Considera-se que os resultados demonstrados nesta análise bibliométrica vão ao encontro do estudo de SEHNEM et al (2019) e SEHNEM et al (2021), mostrando que, embora tenha havido um quantitativo grande de pesquisa sobre economia circular nos últimos anos, esses estão mais focados nos aspectos técnicos da transição que em fatores sociais que analisem a situação dos atores sociais envolvidos e os impactos que a transição pode trazer em termos de indicadores sociais.

3.2 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO

Os principais requisitos ao atendimento dos princípios da economia circular são: políticas públicas para que se possa motivar e tornar viável a implementação da economia circular; tecnologia que deve ser aplicada a produtos e a serviços; governança com estrutura que promova comunicação e ação conjunta entre entidades públicas, empresas e clientes/consumidores; e processos de produção e negócios circulares.

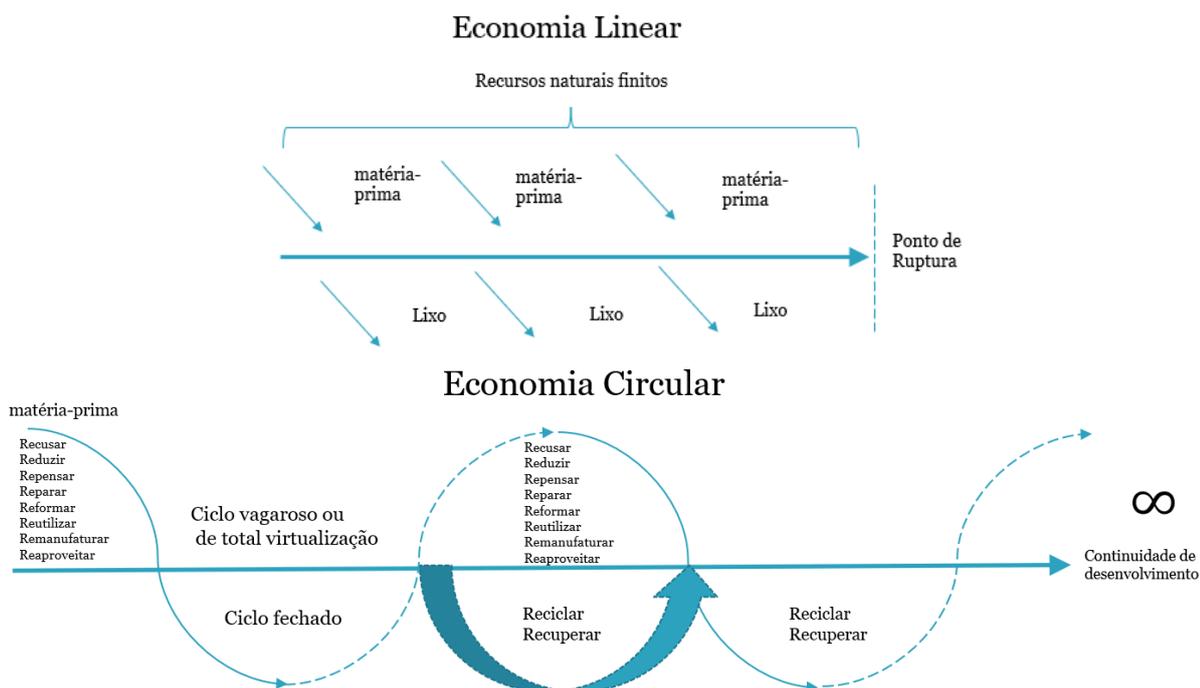


Figura 12: Economia linear *versus* economia circular.
Fonte: Elaboração própria.

A figura 12 demonstra, na sua parte do topo, que o modelo vigente de economia linear resulta em impactos ambientais, pela incessante extração de recursos naturais e descarte de resíduos; sociais, como proliferação de doenças e trabalhos insalubres e degradantes; e econômicos, devido a fatores como maior custo na aquisição de matérias-primas virgens e passivo ambiental advindo de emissões e de geração de resíduos.

Ainda, de acordo com a figura 12, na sua segunda parte, verifica-se que a economia circular, por sua vez, tem como objetivo promover o aumento de vida útil de produtos e recursos e a máxima taxa de retorno de recursos ao sistema de produção e consumo quando do fim de vida do produto ou material. Neste contexto, contribuindo com o que é apresentado nesta revisão de literatura por KIRCHHERR et al (2017), BOCKEN (2016) e SEHNEM (2019) a respeito dos ciclos fechados na economia circular, considera-se que a transição para a economia circular ocorre por meio de três estágios: ciclos fechados, ciclos vagarosos e total virtualização.

O primeiro deles é o estágio de ciclo fechado, ele está focado no uso do recurso natural (energia e material), e não no produto. O ciclo fechado é promovido por meio de estratégias que atendem aos princípios de recuperar e reciclar. A reciclagem se difere da remanufatura e do prolongamento, pois nela interessa somente o material que retorna ao processo produtivo em substituição a um material virgem. A reciclagem não se dá no nível do produto ou do

componente, mas no uso distinto que se pode dar aos materiais contidos neles. Quando se usa uma placa eletrônica de um produto que chegou ao fim de vida para fazer um produto com função comparável ou diferente, esse é o campo dos princípios de remanufatura e de reaproveitamento, estando no campo dos ciclos vagarosos de prolongamento de vida. Mas quando se desmonta uma placa eletrônica para uso de seus metais em diversos tipos diferentes de aplicações industriais, tem-se a reciclagem, que é ciclo fechado.

O segundo estágio ocorre por meio de ciclos vagarosos, que se subdividem em dois tipos: ciclos de extensão de vida e ciclos de prolongamento de vida. Nos ciclos de extensão de vida, o objetivo é aumentar a vida útil de um produto, fazendo com que ele dure mais. O ciclo de extensão envolve durabilidade, com critérios de qualidade do produto desde o projeto de produção (*design for product long life*) até estratégias de aumento de vida útil (*design for product life extension*). Essas últimas estão relacionadas aos princípios de reutilizar (mesmo produto repassado para outro usuário), reparar (conserto, mantendo função original) e reformar (atualização do produto, como uma máquina de lavar, onde adicionando-se uma nova placa de circuito, pode passar a ter função de uso por aplicativo, por exemplo).

Os ciclos de prolongamento se referem a materiais e componentes do produto. Nos ciclos de prolongamento são aplicadas estratégias relacionadas aos princípios de remanufaturar (usar os componentes para fazer produtos comparáveis) e reaproveitar (usar os componentes para fazer produto com função diferente). Os ciclos de prolongamento podem ser feitos no nível do próprio usuário do produto ou no nível de um prestador de serviço (negócio circular).

O terceiro estágio de transição para a economia circular é a total virtualização, este termo é usado nesta tese para demonstrar que há o uso do produto ou do desempenho, mas este não precisa mais da detenção do produto por parte do usuário final. Considera-se desempenho como o resultado, a eficiência da qual o usuário do produto ou serviço necessita para satisfazer uma necessidade que pode envolver um produto ou um serviço para ser satisfeita. O que é denominado nesta tese de “total virtualização” não é sinônimo de desmaterialização, pois o produto pode continuar existindo ou não, apenas a posse dele não precisa mais ser detida pelo usuário final do desempenho. A necessidade de transporte é um exemplo disso, onde se locomover de um ponto A para um ponto B é o desempenho, o carro é o produto, e um aplicativo de mobilidade é o serviço. No estágio de total virtualização, as estratégias de transição para economia circular compreendem os princípios de recusar (abandona a função do produto e mantém o desempenho do produto), reduzir (diminui o uso do produto e mantém o desempenho) e repensar (usa o produto intensificando suas funções). No terceiro estágio,

portanto, estão as estratégias que exigem maior nível tecnologia para que possam ser aplicadas com sucesso, elas se relacionam aos princípios de recusar, repensar e reduzir. Muitas das estratégias desse estágio não irão se relacionar nem a ciclos fechados nem a ciclos vagarosos porque elas permitiram que um determinado material ou recurso não seja usado.

A figura 13 foi elaborada como o objetivo de sintetizar e demonstra todos esse processo de transição estruturado nos três estágios: ciclo fechado, ciclo vagaroso (prolongamento e extensão de vida) e total virtualização.

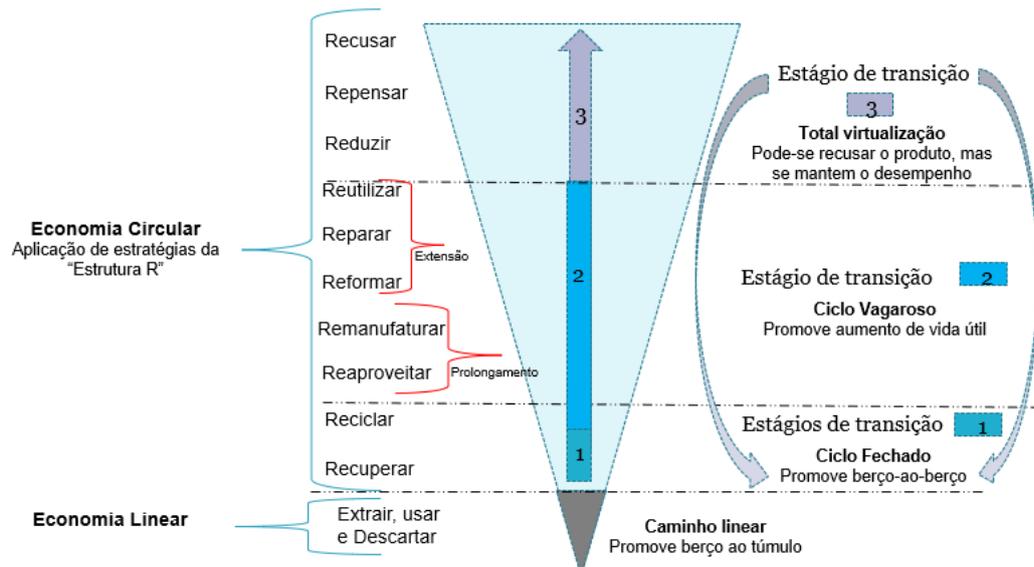


Figura 13: Dínamo de transição para a economia circular.
Fonte: Elaboração própria com base na revisão de literatura.

SEHNEM et al (2019) identificam diferenças entre a economia circular e outras abordagens não lineares, tais como logística reversa, ciclos fechado, simbiose industrial, berço-ao-berço e avaliações de ciclo de vida. Contribuindo para esta discussão, considera-se que essas abordagens não lineares estão contidas na economia circular, tendo em vista que a simbiose industrial e a logística reversa oferecem ferramentas ao atendimento dos princípios de economia circular; ciclos fechado e berço ao berço são, respectivamente, estágio e resultado de práticas da economia circular; e o ciclo de vida diz respeito às fases do material ou produto que se busca aumentar a vida útil por meio da economia circular.

Reforça-se o apresentado por SHENEN (2019) e SHENEN (2021) no que se relaciona à necessidade de mais estudos envolvendo a dimensão social na economia circular. A análise bibliométrica feita neste capítulo confirma que, mesmo quando a variável social aparece nos estudos, ela está envolvida com questões de cunho técnico (como cadeia de suprimentos) ou

com assuntos econômicos, e não com questões sociais. O principal elemento propulsor da economia circular é a geração de resultados financeiros positivos. Mas a economia circular não pode ser vista somente como um conjunto de estratégias que resultam em compensação ambiental para as empresas. Talvez este seja o motivo de muitos considerarem que economia circular se restringe apenas a reciclagem.

A economia circular não pode ser somente uma abordagem focada em resultados econômicos e em reciclagem. É necessário implementar estratégias relacionadas a todos os princípios da estrutura “R”. Isso pode contribuir para que aumente a taxa de circularidade global, que se mantém entre 9% e 8% em um contexto tecnológico no qual poderia ser de 90% (CIRCLE ECONOMY, 2015). Também é necessário aumentar as pesquisas sobre a dimensão social, pois a existência de trabalhadores informais que atuam como “recicladores” em condições degradantes não pode ser solução sustentável.

A contribuição deste capítulo foi organizar os princípios de economia circular, identificar os desafios e estratégias e relacionar os princípios com estratégias de transição para a economia circular. Assim, o trabalho desenvolvido no capítulo é um primeiro passo para demonstrar a viabilidade da transição para economia circular.

4. INTERAÇÕES DE ECONOMIA CIRCULAR E METABOLISMO URBANO

4.1 CAMINHOS DO ESTUDO DE METABOLISMO URBANO

Metabolismo é o processo bioquímico por meio do qual um organismo utiliza materiais e energia para atender um determinado objetivo (VEIGA, 2015). O metabolismo envolve fluxos de entrada, saída e estoque de materiais e energia. O equilíbrio metabólico de um organismo – homem, floresta ou cidade – depende de qualidade, volume e velocidade de seus fluxos. A teoria do metabolismo:

remonta pelo menos à época de Sanctorius (1712 [1614]), que passou cerca de 30 anos comendo, trabalhando e dormindo em seu famoso assento da balança, pesando meticulosamente suas dietas, ingestão e excreções corporais. Concluiu que uma porção substancial de sua comida foi perdida através da pele como *perspiratio insensibilis* ou "transpiração insensível". Muito mais tarde, em seu tratado sobre células, Schwann (1839, 1847) usou pela primeira vez o termo *metabolische*, do qual deriva metabólica. E, claro, Marx usou o termo metabolismo (*stoffwechsel*) para caracterizar a complexa relação entre sociedade e natureza; esse, por sua vez, baseou-se no trabalho de Moleschott (1852) sobre os ciclos e trocas de energia e nutrientes entre plantas e animais [...] (SWYNGEDOUW, 2006 *apud* NEWELL e COUSINS, 2015, p. 1).

Como a maior parte dos recursos naturais extraídos no planeta se transforma em produtos que são consumidos e descartados dentro de cidades, o objetivo deste capítulo é analisar como fluxos de metabolismo urbano se relacionam com práticas de economia circular.

A lei da conservação -primeira lei da termodinâmica - afirma que a energia não se perde, ela se modifica. A lei de entropia -segunda lei da termodinâmica- enuncia que, embora a energia não se perca, ela pode passar de um estado livre e utilizável (baixa entropia) para outro de energia caoticamente dissipada e não utilizável (alta entropia). Num ecossistema sem impactos antrópicos, há equilíbrio entre estes dois tipos de energia. Mas ações antrópicas geram desequilíbrio ao converter - de maneira rápida e em grandes quantidades - recursos naturais de baixa entropia em resíduos de alta entropia (GEORGESCU-ROGEN, 2012).

O ecossistema é resultado da troca constante e em trajetos circulares de materiais entre seres bióticos e abióticos, de tal forma que nenhum ser vivo é capaz de viver sozinho e sem a estrutura advinda da constante interação com o ambiente (ODUM, 1953). Logo, “todos os seres vivos são sistemas abertos em interação com o ambiente por meio de seus mecanismos de metabolismo” (WASSENAAR, 2015, p. 719). A palavra metabolismo, conforme é utilizada no seu contexto biológico original, conota os processos internos dos organismos vivos que ingerem energia rica - baixa entropia - e, com isso, realizam funções básicas de manutenção, crescimento e reprodução. Este processo envolve, necessariamente, a saída de resíduos que gera degradação

e alta entropia de materiais (AYRES, 1994). Desta forma, o equilíbrio de um ecossistema depende de ciclos biogeoquímicos complexos que são constantemente e crescentemente impactados pela exploração de recursos naturais limitados (ODUM, 1953).

Recursos naturais são insumos transformados em produtos e serviços dentro do sistema econômico. Eles são consumidos, em sua maioria, dentro das cidades, que precisam monitorar seus dados de metabolismo urbano para serem mais sustentáveis (NIZA, 2009; KENNEDY e HOORNWEG, 2012). Os estudos acerca de metabolismo urbano iniciam a partir de Abel Wolman, que em 1965 escreve o seu artigo “O metabolismo das cidades”, onde afirma que “a necessidade metabólica de uma cidade pode ser definida a partir do conjunto de todos os materiais e mercadorias necessários para sustentar os seus habitantes nas suas moradias, trabalho e atividades de lazer” (p. 156); e que se deve ter ciência de que o planeta não tem condições de assimilar lixo ilimitado (WOLMAN, 1965).

O primeiro estudo de análise de metabolismo urbano em uma cidade foi realizado por Duvigneaud e Smet, em 1977, e apresenta o metabolismo da cidade de Bruxelas, na Bélgica (DANNEELS, 2018; KENNEDY et al, 2007). O quadro 07 mostra informações sobre artigos e revisões no *Scopus* e no *Web of Science* com a palavra-chave “metabolismo urbano” no título, no resumo, ou nas palavras-chave.

Base conceitual	Bases de Dados	Artigos encontrados	Principais Pesquisadores	Filiações
Metabolismo urbano	Scopus	705	Zhang, Y (43) Yang, Z (15) Zheng, H (10) Chen, B (14) Fath, B. D. (15) Yang, Z. F. (15)	- Universidade Normal de Beijing (66) - Academia Chinesa de Ciências (38) - <i>State Key Joint Laboratory of Environmental Simulation and Pollution Control</i> (25) - Universidade da Califórnia (18) - Universidade de Toronto (18) - Universidade Autônoma de Barcelona (20)
	Web of Science	696		

Quadro 07: Artigos com a palavra-chave “metabolismo urbano”.

Fonte: *Scopus* e *Web of Science* (junho 2022).

Os periódicos científicos que mais publicam a respeito de metabolismo urbano, em pesquisa em maio de 2021 na base de dados *Scopus*, são: *Journal of Industrial Ecology* (64), *Journal of Cleaner Production* (54), *Resources Conservation and Recycling* (34), *Sustainability Switzerland* (39) e *Ecological Modelling* (22).

Toda cidade é um sistema aberto que importa, exporta e estoca recursos para a manutenção de suas funções. Os de entrada correspondem a extrações domésticas e importações, os de saída correspondem a emissões, resíduos e exportações de matérias-primas

e produtos. Fluxos de estoque são aqueles que permanecem durante um grande período nas cidades, como material de construção civil, e depois se convertem em material de fluxo novamente (NIZA, 2009; VOSKAMP, 2016; UNEP, 2018). Uma casa ou edifício corresponde a uma célula, que requer fluxos de entrada e saída; as rodovias, com fluxos logísticos, correspondem às artérias que alimentam as células. Diferente de uma planta ou animal - que possuem mecanismos biológicos internos que regulam o seu crescimento -, o fluxo metabólico de uma cidade é pautado pelo desenvolvimento ou subdesenvolvimento econômico. Isso gera problema quando a cidade demanda fluxos de entrada e gera fluxos de saída em quantitativo superior à capacidade de equilíbrio do seu sistema metabólico (OLSEN, 1982).

Os fluxos metabólicos da cidade envolvem todos os tipos de materiais necessários para sustentar os seus habitantes em todas as atividades que eles realizam dentro dela. O ciclo metabólico só é completado quando os resíduos gerados são removidos ou eliminados com um mínimo de degradação (WOLMAN, 1965). Cada produto ou serviço, dentro da cidade, envolve diversos tipos de recursos com ciclos de vida diferentes em subsistemas de produção, fornecimento, distribuição e consumo (BOHLE, 1994). Fluxos de entrada podem permanecer durante pouco ou muito tempo em estoque dentro da cidade, são exemplos deles os alimentos, os combustíveis fósseis e os produtos industrializados. São exemplos de fluxos de saída, emissões de gases e resíduos sólidos como resto de produtos e embalagens, construção (KENNEDY e HOORNWEG, 2012).

O quadro 08 apresenta síntese de publicações importantes acerca de metabolismo urbano.

Autor (es)/ano	Contribuição
WOLMAN (1965)	Primeiro artigo de metabolismo urbano. Projeção em cidade hipotética, devido à preocupação do autor com a possibilidade de escassez de água na cidade de Nova York.
DANNEELS (2018); KENNEDY (2007)	O artigo “O ecossistema urbano de Bruxelas”, escrito por Paul Duvigneaud e Denaeyer-de Smet em 1977, é considerado a primeira análise do metabolismo urbano de uma cidade .
NEWCOMBE (1978)	O artigo é a análise do metabolismo da cidade de Hong-Kong. E o segundo estudo de metabolismo urbano de uma cidade, e demonstra preocupação com a necessidade de conservação de recursos no planejamento urbano diante da tendência de expansão das cidades que se projetava à época.
OLSEN (1982)	Relaciona os ciclos em uma cidade com os ciclos do corpo humano. Faz uma relação também com os ciclos econômicos. Da mesma forma que um organismo vivo tem ciclos, a cidade passa por ciclos de metabolismo.
HENDRIKS et al (2000).	Livro “metabolismo da antroposfera”, escrito por Peter Baccini e Paul H. Bruner em 1999. Nele, os autores apresentam metodologia para a realização do MFA
E. P. ODUM (1953)	Eugene P. Odum, escreveu o livro “Fundamentos da Ecologia”, 1991, que demonstra por meio da teoria de ecossistemas naturais a relação entre ciclos bioquímicos e sua circularidade.
H. T. ODUM (1996)	Howard T. Odum, que escreveu, entre outras obras, “ <i>Environmental, power and Society</i> ”, (1971); “ <i>Environmental accounting: emergy and environmental decision</i>

	<i>making</i> ” (1996); e <i>Handbook for Emergy</i> (2000). Nestes dois últimos, apresentando a teoria a respeito de emergia, que é o resumo de todos os fluxos de energia disponíveis que são diretamente ou indiretamente consumidos para fazer um produto.
EUROSTAT (2001)	Publicação do Guia Metodológico do Gabinete de Estatística da União Europeia (EUROSTAT) para realização de análise do fluxo de materiais em toda a economia (EW-MFA). É nesta metodologia que muitos estudos de MFA se baseiam.
SAHELY e KENNEDY (2003)	Análise do metabolismo urbano da região urbana de Toronto, Canadá, (envolvendo 5 municípios), primeiro estudo que compara o metabolismo de três regiões em partes diferentes do mundo (Região de Toronto, Sidney e Hong-Kong) e que faz análise de uma cidade no continente americano. A entradas foram comida, água, energia (gás, eletricidade e gás natural) e materiais de construção (ferro, aço, madeira, tijolos, cimento, areia, agregado e vidro). As saídas foram resíduos sólidos residenciais, descargas de água e emissões no ar.
HUANG (2003)	Apresenta análise do setor de construção na cidade de Taipei, no Taiwan. Estabelece relação entre a quantidade de material extraído da natureza por ano e a quantidade de resíduos despejados sem reciclagem em áreas naturais. Demonstra que o processo de desenvolvimento urbano sem planejamento modifica a paisagem e causa impactos negativos no ecossistema, sendo importante a melhoria da eficiência do metabolismo urbano para o desenvolvimento sustentável, por meio de reciclagem e reutilização de resíduos de construção e redução do impacto da extração mineral na paisagem.
KENNEDY (2007)	O artigo é uma revisão que apresenta comparativo de dados de estudos de metabolismo urbano de oito regiões metropolitanas de cinco continentes, realizadas em várias épocas diferentes desde 1965. No estudo, é verificam-se as alterações nas cidades ao longo dos anos e as mudanças nos fluxos de água, materiais, energia e nutrientes (como nitrogênio, fósforo e metais), e na gestão de resíduos, a emissão de poluentes e os problemas relacionados à acumulação de elementos tóxicos. No geral, houve aumento do metabolismo per capita e poucas cidades tinham melhorado a eficiência do metabolismo.
OECD (2008)	Publicação do guia “Medindo fluxos de materiais e produtividade de recursos” pela Organização para o Crescimento e Desenvolvimento Econômico (OECD). O guia apresenta uma estrutura organizada dos indicadores de análise de fluxo de materiais.
NIZA (2009)	Metodologia para quantificar fluxos de materiais urbanos, por meio da compilação de dados da caracterização do metabolismo de uma cidade. Foi testada na cidade de Lisboa por meio de fórmulas que calculam três matrizes – da composição dos materiais, dos fluxos de massa e da cidade objeto de caso. Usa quatro variáveis que são caracterizadas e relacionadas ao fluxo da cidade: consumo absoluto de materiais e produtos por categoria, taxa de transferência de materiais no sistema urbano por categoria de material, intensidade do material nas atividades econômicas, e destinação dos resíduos.
ARORA et al (2019)	Utilizou metodologia de avaliação de estoque de material de edifícios para estudar o potencial de circularidade do material em relação à reutilização de materiais de edifícios em fim de vida. Estimou o estoque de materiais e componentes de empreendimentos habitacionais públicos na cidade-estado de Singapura e fluxos de entrada e saída anuais associados. A metodologia pode ser aplicada em bairro ou cidade para compreender a relação entre recursos de construção e disponibilidades em estoques e saídas potenciais.

Quadro 08: Estudos de metabolismo urbano.

Fonte: Elaboração própria.

Um sistema de metabolismo urbano envolve: componente metabólicos, fluxos materiais que incluem setores agrícola, industrial e doméstico; ambiente interno, tudo aquilo que está dentro do espaço físico abrangido pelas fronteiras administrativas da cidade; e ambiente externo, tudo o que está fora das fronteiras da cidade. As atividades metabólicas da cidade não podem ser supridas somente no espaço físico dela, o que requer importações de outros sistemas metabólicos, exigindo um transporte contínuo do ambiente externo para o sistema urbano e vice-versa. Isso gera uma troca constante com o ambiente além das fronteiras da cidade. Assim, o estudo dos impactos de dependências das atividades de um sistema de metabolismo urbano

pode ser dividido em cinco componentes: ambiente interno, ambiente externo, setor agrícola, setor industrial e setor doméstico (ZHANG; YANGA, 2009).

O metabolismo socioeconômico é uma nova vertente do metabolismo urbano que busca compreender estruturas socioeconômicas por meio das suas relações com o ambiente natural e através de análise de processos físicos de materiais e fluxo de energia, permitindo rastrear a qualidade da energia e material que flui através de uma sociedade (HUANG e CHEN, 2009).

4.2 MÉTODOS DE DIAGNÓSTICO E CONTROLE DO METABOLISMO URBANO

Um indicador ou medida de desempenho mede a efetividade de uma determinada área por meio de dados quantitativos. Ele deve ser reproduzível, de fácil compreensão e possibilitar a tomada de decisão para ação sobre os resultados demonstrados (MARTINS e ALT, 2006). Os fluxos e estoques de um sistema urbano precisam ser monitorados em longo prazo para estimar indicadores que norteiam o processo de tomada de decisão em nível político-estratégico para a construção de cidades mais sustentáveis e resilientes (HENDRIKS et al, 2000; TANIKAWA, 2009). A análise do metabolismo urbano oferece indicadores que quantificam a eficiência da cidade em promover entrada e saída de recursos por meio da mensuração de fluxos globais de energia, água, material e resíduos (EUROSTAT, 2001; SAHELY, 2003).

O quadro 09 apresenta um resumo dos principais indicadores de diagnóstico e controle de metabolismo urbano identificados neste estudo, buscou-se apresentar os mais citados nas publicações no que diz respeito à relação entre metabolismo urbano e economia circular.

Método de diagnóstico de controle	Sigla	Aplicação	Fonte
Análise do fluxo de materiais (<i>Material flow analysis</i>)	MFA	Quantifica a entrada e saída de materiais físicos e de energia de um sistema - economia ou cidade. Ele pode ser aplicado em níveis micro, meso e macro. Envolve processos desde a extração ou colheita, passando por todas as etapas de vida: transformação química, fabricação, consumo, reciclagem e disposição de materiais. É contabilizado em unidades físicas, como toneladas, e tem uma <u>ligação clara com a contabilidade econômica</u> .	(BRINGEZU, 2002); OECD (2008)
Tabela de entrada e saída (<i>Input Output table</i>)	IO	Metodologia para análise de fluxo de materiais em nível industrial. É o nível meso e macro. Mas possui variações como a tabela de entradas e saídas ambientais (<i>environmental input-output tables</i> - EIOTs), onde fluxos monetários da economia são descritos, e os recursos e resíduos são tratados como extensões físicas; e a tabela de entradas e saídas físicas (<i>physical input-output table</i> - PIOTs), que permite mostrar fluxos entre setores econômicos de tal forma que insumos de materiais de um	OECD (2008); LIANG e ZHANG (2011 a)

		setor envolvem recursos extraídos de outros setores de extração. Exige mais dados que o EW-MFA.	
Análise de fluxo de material em toda a economia (<i>Economy-wide material flow analysis</i>)	EW-MFA	É metodologia para a análise do fluxo de materiais em toda a economia, no nível macro, oferecendo ferramentas descritivas com o objetivo de obter informações sobre material e energia que entram e saem de uma sociedade/economia. Pode ser aplicado em escala de região e cidade, por exemplo.	OECD (2008); EUROSTAT (2001)
Análise do Ciclo de Vida (<i>Life Cycle Analysis</i>)	ACV	É usado para estimar o potencial impactos ambientais ao longo da vida útil de um produto, considerando desde a extração de suas matérias-primas até a disposição final de suas partes. Corresponde ao nível micro da análise de fluxos de materiais, pois, por ele pode-se compreender tanto o ciclo de vida de um produto ou os fluxos de um negócio.	OECD (2008); WESTIN et al (2019)

Quadro 09: Métodos de diagnóstico e controle de metabolismo urbano.

Fonte: Elaboração própria.

A análise do ciclo de vida (ACV) é potencialmente uma das ferramentas de gestão mais instrutivas para obter informações a respeito dos impactos ambientais relacionados ao produto, podendo ajudar empresas a reduzir custo, identificando práticas ou processos desnecessários. Nas cidades, esse indicador tem função complementar (KROTGER, 1999; FRANKL, 2002; PINCETL et al, 2012). É possível a integração de dados de análise do fluxo de materiais (MFA) e ACV para estimar o impacto ambiental do consumo de um determinado produto ou material em uma região específica (TANIKAWA et al, 2009; LAVERS et al, 2017; GARCÍA-GUAITA et al, 2018).

Os resultados apresentados pelos métodos de controle e indicadores de metabolismo urbano devem ser combinados com indicadores econômicos e de qualidade de vida para facilitar a análise conjunta de impactos ambientais, sociais e econômicos de regiões ou cidades (SAHELY, 2003). Visto que fenômenos econômicos e sociais impactam o metabolismo urbano positivo ou negativamente, dependendo da tomada de decisão e planejamento de políticas públicas (FUNG, 2005).

Para aplicar instrumento de diagnóstico e controle de metabolismo urbano, é necessária uma estrutura que requer, entre outros elementos, a existência de bancos de dados para que se tenha informações assertivas a respeito dos fluxos de materiais. Poucas cidades pelo mundo têm quantificado seus indicadores de metabolismo urbano devido à dificuldade de obtenção de dados estatísticos e ao fato de que, dependendo da situação, pode-se exigir a extrapolação de dados para o nível de país ou região. Assim, há necessidade de bancos de dados compartilhados que tenham informações de fluxos de recursos dentro dos sistemas urbanos (NIZA, 2009; VOSKAMP, 2016; VOSKAMP et al, 2018).

Assim, a estruturação e utilização de bancos de dados é um requisito essencial para que se tenha estudos de metabolismo urbano em determinada região ou país. Na União Europeia, por exemplo, o principal banco de dados é o EUROSTAT, concebido originalmente para o nível de país, e cuja adaptação de escalas para análise em cidades tem problemas de padronização (VOSKAMP et al, 2016). Recentemente foi inaugurada uma plataforma internacional denominada como Projeto *Multiplicity*, que tem como missão concentrar dados de fluxos de cidades no mundo com o objetivo de formar uma base cujos dados possam contribuir para o trabalho de pesquisadores e de formuladores de políticas públicas. No entanto, a base conta no momento com dados de poucas cidades, tais como Cape Town (África), Pequim (China) e Hague (França) (METABOLISM OF CITIES, 2020). Em países como o Brasil ainda está sendo feito trabalho norteado por instituições como Instituto Brasileiro de Pesquisas e Estatísticas (IBGE) para formar bancos de dados.

4.3 METABOLISMO URBANO: FLUXOS DA CIDADE SOB A ÓTICA DA ECONOMIA CIRCULAR

O risco de escassez de recursos dado o aumento do metabolismo das cidades e a necessidade de importações em redes continentais e globais para prover áreas urbanas cada vez mais tecnológicas afeta a capacidade de carga e resulta em consequências como perda de terras agrícolas, florestas e diversidade de espécies (ZHANG, 2006; KENNEDY, 2007). Capacidade de carga é a competência que determinado espaço físico tem de prover necessidades de espécies que nele vivem sem que isso prejudique permanentemente a provisão de serviços ambientais (ALMEIDA, 2007). O metabolismo urbano-industrial sobrecarrega a capacidade de carga das cidades (RESS, 1997), fazendo com que o nível de consumo delas ultrapasse a capacidade que os ecossistemas naturais têm para ofertar seus serviços de provimento de recursos e absorção de resíduos.

O metabolismo urbano se relaciona à compreensão dos fluxos de uma cidade, enquanto a transição para cidade circular resulta em um conjunto de estratégias (conforme será visto em capítulos posteriores desta tese) que otimiza e racionaliza esses fluxos, contribuindo para que o ambiente urbano e seus arredores deixem de ser túmulo de resíduos e se tornem berço de novos recursos. Destarte,

[...] uma mudança de economias urbanas lineares para circulares extrai mais utilidade da corrente de "resíduos". Isso implica novas abordagens para gerenciar a movimentação de recursos através da cidade, tanto em termos de estoque (por

exemplo, construção materiais) e fluxos que atendem à cidade (por exemplo água). Conceitos como ‘mineração urbana’, ‘cascata de recursos’, ‘simbiose industrial’ e as várias manifestações da “economia [estrutura] R” (reduzir, reutilizar, reciclar, ...) definirão o novo urbanismo (UNEP, 2018, p. 210).

O sistema urbano é aberto e subdividido em seis subsistemas que envolvem elementos naturais e artificiais e geram fluxos de entrada e saída de materiais e energia: de infra-estrutura, industrial, residencial, de espaços verdes, de agricultura e florestas, de natureza fechada (KROTGER, 1999). O subsistema de infraestrutura é formado por subsistemas menores que suprem necessidades básicas como transporte, alimentação e energia, por exemplo. Para que o subsistema de infra-estrutura seja suprido, há interações como o meio externo em diversos níveis que vão do local ao global. Estratégias de transição para economia circular em cidades se relacionam com todos esses subsistemas e também com os níveis interno e externo do sistema urbano.

O quadro 10 apresenta artigos que unem “metabolismo urbano” e “economia circular”.

Autores	Resumo	Economia circular / metabolismo urbano
BASE DE DADOS SCOPUS (2020) apresentando resumo de por Xu Y e Zhang T (2004).	Guiyang foi cidade piloto para a aplicação de práticas de economia circular na China, o planejamento de implementação foi feito utilizando MFA para analisar o crescimento da economia.	Escrito por Xu Y e Zhang T (2004), o artigo “ <i>Material flow analysis in Guiyang</i> ” é um dos primeiros de economia circular que foram indexados nas bases de dados e, na sua temática central, apresenta a aplicação de um MFA na cidade Guiyang para demonstrar o desenvolvimento da economia circular na China.
FORKES (2007)	Análise da circularidade do metabolismo do nitrogênio do ciclo de alimento na cidade de Toronto, Canadá, nos anos de 1990, 1994 e 2001.	A autora utiliza os termos “circularidade do metabolismo urbano”, “saída linear” e “saída circular”.
LEHMANN (2011)	Relação entre metabolismo urbano sustentável e conceito “lixo zero”. “Lixo” é um recurso que faz parte de um ciclo urbano-ecológico fechado. Estabelece relação entre “metabolismo linear” e “metabolismo circular”. Cita cidades - como São Francisco (EUA) e Curitiba (Brasil) - que envolvem reciclagem em situações diversas, desde agricultura urbana com insumos ciclados até setor da construção civil. Demonstra que implementar a estrutura R conduz ao metabolismo urbano circular, aquele que reduz saídas e entradas por meio de estratégias de “pensamento de ciclo fechado”.	Apresenta o conceito de “metabolismo urbano circular” como aquele que reduz saídas e entradas por meio da implementação de estratégias de “pensamento de ciclo fechado”, que é a implementação na cidade de estratégias de economia circular, tais como reciclagem e reuso.

LIANG e ZHANG (2011 b)	Investiga impactos da reciclagem em quatro tipos de resíduos sólidos urbanos (pneus, de resíduos alimentares, cinzas volantes para cimento e reciclagem de lodo para biogás) no metabolismo urbano da cidade de Suzhou in China. Utiliza PIOT em relação a seis cenários previstos para 2015.	Conclui que algumas reciclagens são positivas e outras (nos cenários estudados) precisam ser melhoradas, pois ainda são muito lineares. Sugere complementação com o uso de ACV.
VAN DER HOEK (2015)	O artigo tem como objetivo principal demonstrar que Amsterdam é uma metrópole europeia sustentável devido à integração de água, energia e fluxo de materiais.	Cita o documento “ <i>The Circular Metropolis Amsterdam 2014–2018</i> ” e estabelece relação forte entre economia circular e metabolismo urbano, ao demonstrar análises quantitativas com instrumentos como ACV, e relacionar os resultados com práticas de economia circular.
VOSKAMP (2016)	Faa revisão a respeito do uso de MFA para quantificar o metabolismo urbano na cidade de Amsterdam com dados do EUROSTAT. Os resultados demonstram que o EUROSTAT ainda é o melhor banco de dados que se tem, embora apresente pontos críticos.	A análise de metabolismo urbano é o ponto principal do estudo, e a economia circular fica implícita como uma possibilidade de melhorar a eficiência do metabolismo urbano.
STEPHAN e ATHANASSIADIS (2018)	Mapeou e quantificou fluxos de entrada e saída relacionados à construção civil na cidade de Melbourne-Austrália. Demonstra a possibilidade de substituição de fluxos para os edifícios na cidade de Melbourne, estima quais materiais permitem estabelecer estratégias de reutilização e reciclagem.	O modelo proposto pelos autores visou contribuir para a implementação de economia mais circular em Melbourne, bem como propor ações de circularidade para a construção civil.

Quadro 10: Artigos que unem “metabolismo urbano” e “economia circular”.

Fonte: Elaboração própria com base nos artigos revisados.

O metabolismo linear, constante fluxo de entrada e saída de recursos que gera extração de depósitos infinitos, coloca pressão sobre a disponibilidade de recursos. Em contraste, o metabolismo circular se assemelha ao metabolismo de ecossistemas naturais, com baixa taxa de consumo devido à reciclagem e ao reaproveitamento dos diferentes fluxos urbanos, de materiais, energia e água; contribuindo para cidades mais sustentáveis e resilientes (AGUDELO-VERA et al, 2012). “Sustentabilidade e desmaterialização serão as chaves para o planejamento urbano e a gestão de resíduos no futuro” (TANIKAWA et al, 2009, p. 500), sendo que essa desmaterialização é possível por meio de princípios de economia circular, tais como os de recusar e repensar.

Estudo realizado por FORKES (2007) foi um dos primeiros que, ao fazer o balanço nitrogênio relacionado ao metabolismo do ciclo de alimentos na cidade de Toronto - nos anos de 1990, 2001 e 2004 – teve como objetivo identificar o quantitativo de resíduos de saída de tubo que eram reaproveitados por meio de reciclagem. Por esta razão, a autora dividiu os fluxos de saída em dois tipos “saída linear” e “saída circular”:

As saídas lineares são definidas como produtos residuais que são gerenciados de tal forma que a recuperação e o nitrogênio interno é inibido, através de aterro ou descarregado na atmosfera ou na superfície. As saídas circulares são definidas como

produtos residuais gerenciados de modo que o nitrogênio pode ser recuperado e reciclado através da aplicação de produtos de esgoto e feita com produtos alimentares compostagem de resíduos alimentares. O armazenamento dentro do sistema urbano é o acúmulo de nitrogênio em corpos humanos, aproximadamente 10% do consumo total. A compostagem de quintal, embora ocorra dentro do limite do sistema, é considerada contribuindo para a circularidade do metabolismo alimentar urbano no balanço final (FORKES, 2007, p. 80-81).

A figura 14 demonstra a evolução histórica dos temas metabolismo urbano e economia circular em conjunto. Ela foi resultado de palavras-chave com 1.874 artigos constantes no SCIMAT unindo as palavras-chave “economia circular” e “metabolismo urbano” na base de dados *Scopus*. O objetivo desta análise foi visualizar as principais temáticas que foram abordadas nos artigos que pesquisaram economia circular e metabolismo urbano. A primeira parte da figura mostra a quantidade de palavras que entram e saíram dos artigos em cada um dos cinco períodos da análise, mostra-se também a quantidade de artigos que foram publicados na base de dados em cada um desses períodos.

aparecem somente no último período 2017-2018, eles abordam necessidade de planejamento, gestão de resíduos e reciclagem; e demonstram preocupação com a mitigação do uso de recursos e o reaproveitamento de resíduos.

Assim, a ligação entre economia circular e metabolismo urbano advém do caminho evolutivo de pesquisas que, em vários momentos, abordaram temáticas de pesquisa correlatas como a reciclagem e a gestão de resíduos. A gestão dos resíduos sólidos urbanos dentro de uma perspectiva da ecologia industrial evolui ao longo das décadas, da análise do “papel dos produtores durante a década de 1950, os fluxos de massa a partir da década de 1970 e a avaliação do ciclo de vida nos anos 80” (GANDY 1994, *apud* CLINTON, 2002, p. 545). Essa afirmação pode ser visualizada na rede da figura 5, onde visualiza-se também que os artigos publicados no primeiro período, entre 1982 e 2004 já traziam temáticas relacionadas a MFA e a metabolismo urbano.

Análise bibliométrica realizada para este capítulo envolvendo 2.000 artigos do período de 2021 publicados na base de dados *Scopus* demonstra que estudos que tratam da temática de gestão de resíduos municipais envolvem gestão urbana, análise de fluxos de materiais e princípios da economia circular, sendo mais abordados em países desenvolvidos. Em relação à gestão urbana, há a temática de cidade circular (figura 15).

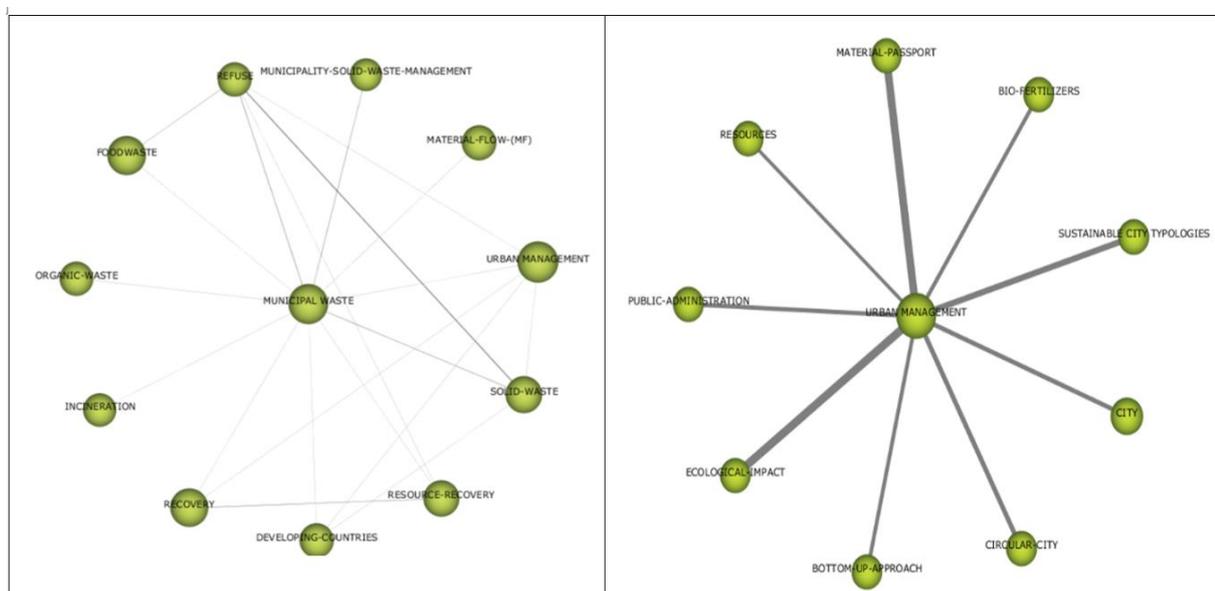


Figura 15: Redes temáticas de resíduos municipais e gestão urbana.
Fonte: SCOPUS (2021) - Elaboração própria utilizando SCIMAT.

A figura 16, que mostra as relações estabelecidas com a palavra-chave “fluxo de materiais” também demonstram a preocupação com a geração de resíduos, com estratégias que

promovam cascata de recursos e também com a necessidade de indicadores de eficiência.

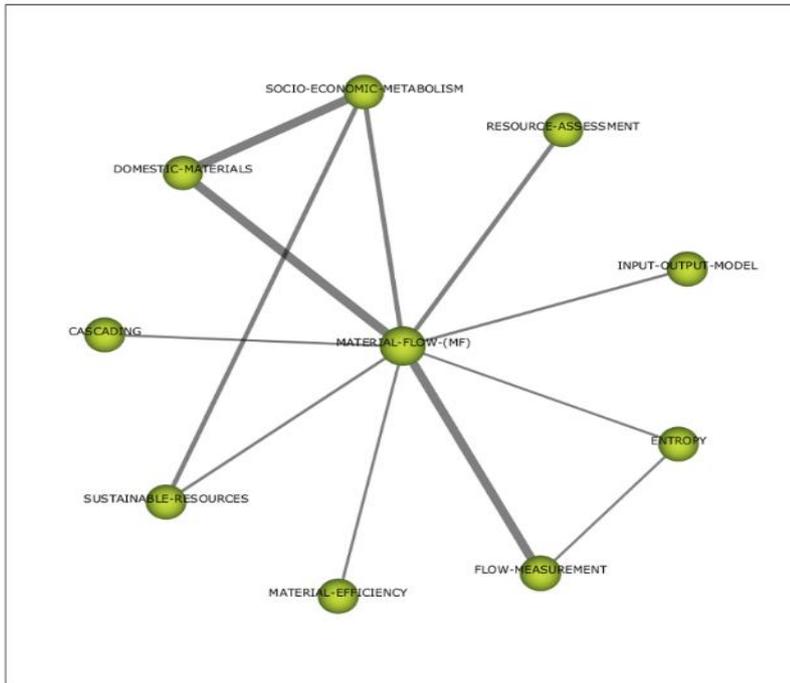


Figura 16: Redes temáticas de fluxo de materiais
 Fonte: SCOPUS (2021) - Elaboração própria utilizando SCIMAT.

4.4 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO

As práticas de economia circular fazem com que haja ciclagem de fluxos que, ao invés de saírem como resíduos e perda de energia, retornam para a cidade, tornando-a mais circular e sustentável. As metodologias de metabolismo urbano contribuem para a transição para cidades circulares ao oferecerem indicadores e instrumentos de diagnóstico e controle em relação ao nível de eficiência das estratégias empregadas. A transição para cidade circular não cicla todos os recursos para berço-ao-berço, mas diminui o depósito de recursos na estrutura berço-túmulo.

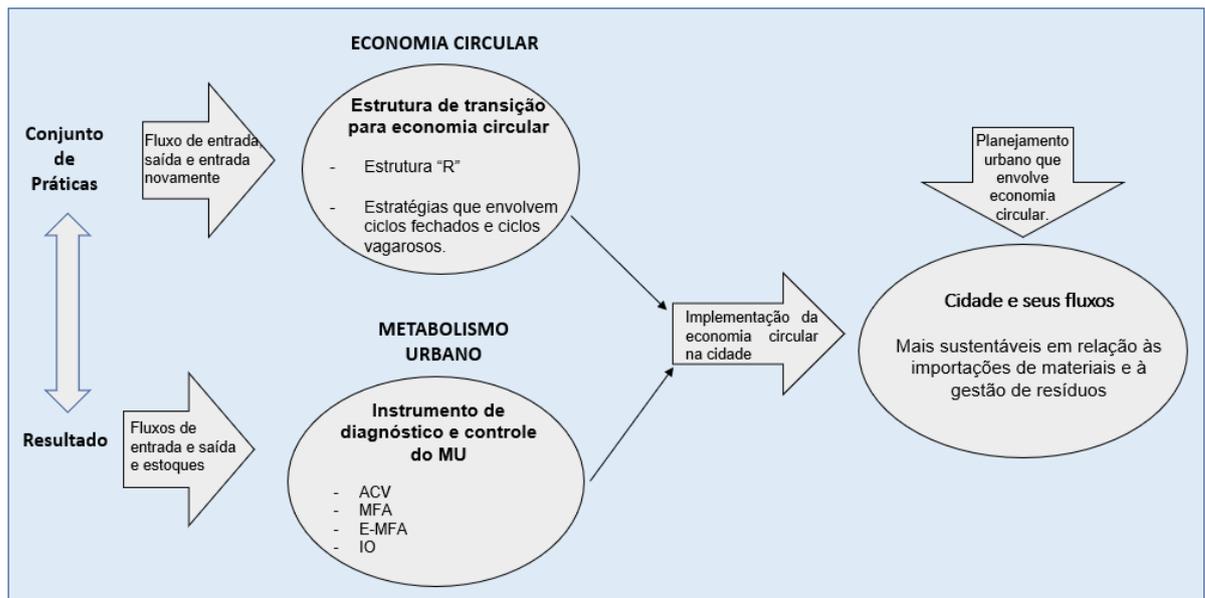


Figura 17: Modelo de união economia circular e metabolismo urbano.
 Fonte: Elaboração própria com base na revisão bibliográfica.

Conforme pode ser visualizado na figura 17, verificou-se que economia circular e metabolismo urbano são temas de pesquisa intrínsecos, visto que a economia circular apresenta estratégias para otimizar fluxos de metabolismo urbano, tendo potencial para diminuir entradas e saídas e tornar os estoques mais duradouros. As estratégias da economia circular podem contribuir para a melhoria do metabolismo urbano. Mas a eficiência e efetividades delas na cidade precisa ser acompanhada de indicadores que meçam os fluxos de materiais para o monitoramento dessas estratégias. Foi demonstrado um gargalo no que diz respeito à existência e manutenção de bancos de dados necessários para elaboração de indicadores de metabolismo urbano.

5. INTERAÇÃO ENTRE CIDADE CIRCULAR E OUTRAS CATEGORIAS URBANAS SUSTENTÁVEIS

A necessidade de transformar as cidades em ambientes urbanos mais resilientes e sustentáveis fez com que surgisse na literatura diversas categorias urbanas sustentáveis diferentes; tais como “cidade inteligente”, “cidade de baixo carbono” e “cidade resiliente”, entre outras. No âmbito desta tese, é aplicado o termo de “categoria urbana sustentável” para se referir a conjunto de metodologias, características e estratégias que podem ser identificadas em uma área urbana e em seus arredores com o objetivo de melhorar indicadores de sustentabilidade.

O objetivo específico deste capítulo foi identificar as características de uma cidade circular e compará-las a outras categorias urbanas sustentáveis: cidade sustentável, cidade verde, cidade inteligente, cidade resiliente, eco-cidade, cidade de baixo carbono e cidade com soluções baseadas na natureza.

5.1 CIDADE CIRCULAR: BASES TEÓRICAS E METODOLOGIAS DE TRANSIÇÃO

A cidade circular é uma das mais novas entre as categorias urbanas sustentáveis. De acordo com OCDE (2020), a pandemia COVID-19 aumentou a necessidade de que cidades em processo de recuperação socioeconômica promovam estratégias de economia circular, visto que a pandemia pressionou a capacidade de suprimento e resiliência das cidades, ao mesmo tempo em que gerou a busca por novos modelos de negócios e reformulação dos atuais.

O primeiro artigo identificado nas bases de dados *Scopus* e *Web of Science* sobre práticas de economia circular em cidades, foi “*Material flow analysis in Guiyang*”, escrito por Xu Y e Zhang em 2004. Mas o termo “cidade circular”, no contexto de economia circular, só apareceu pela primeira vez em bancos de dados científicos entre 2017 e 2018, por meio da publicação de dois artigos: “*Circular cities: mapping six cities in transition*” (PRENDEVILLE et al, 2017) e “*Circular economy in the context of the alterglobalization*” (KRYSOVATYY et al, 2017).

PRENDEVILLE et al (2017) alerta para o fato de que a implementação de estratégias de economia circular em cidades pode cair no descrédito caso a comunidade científica não contribua com indicação de caminhos e agendas que possam ser adotadas por formuladores de políticas públicas. Em acréscimo ao alerta das autoras, levanta-se a seguinte questão: “a categoria de cidade circular realmente agrega valor à temática de sustentabilidade urbana? Neste contexto, identifica-se uma lacuna de pesquisa a respeito de cidade circular no que tange

às suas diferenças, similaridades e contribuições em relação às demais categorias urbanas sustentáveis já existentes antes dela.

O quadro 11 apresenta o quantitativo de publicações no *Scopus*, tendo cada uma das categorias estudadas neste artigo como palavra-chave. Houve o critério de que fossem somente artigos e revisões; e de que a categoria urbana sustentável pesquisada estivesse escrita no título, no resumo ou nas palavras-chave da publicação. Conforme pode ser visualizado no quadro, a cidade circular é a mais nova entre as demais categorias e possui o menor número de publicações, reforçando, assim, a pertinência deste estudo.

Categoria urbana sustentável	Ano de início das publicações	Número de publicações	Principais autores
Cidade circular ⁹	2018	67	Girard, L. F. (6); Cerreta, M. (5); Gravagnuolo, A. (5); Williams, J. (5); Bosone, M. (3).
Cidade com soluções urbanas baseadas na natureza	2012	1.575	Haase, D. (19); Frantzeskaki, N. (17); Laforteza, R. (15); Pauleit, S. (13); Vojinovic, Z. (13).
Cidade de baixo carbono	2009	461	Wang, S. (12); Shen, L. (10); Dong, L. (8); Chen, B. (7); Cui, S. (6)
Cidade inteligente	1997	12.171	Kumar, N. (46); Yigitcanlar, T. (46); Al-Turjman, F. (41); Choo, K. K. R. (26); Rodrigues, J. J. P. C. (25)
Cidade resiliente	2003	572	Dianat, H. (5); Hernantes, J. (5); Khatibi, H. (5); Labaka, L. (5); Serre, D. (5).
Cidade sustentável	1983	3.136	Bibri, S. E. (24); Yigitcanlar, T. (14); Krogstie, J. (10); Amponsah, O. (9); Nijkamp, P. (9)
Cidade verde	1984	595	Anguelovski, I. (5); Chan, C. S. (5); Debrah, C. (5); Haase, D. (5); MacGregor-Fors, I. (5)
Eco-cidade	1982	469	Bibri, S. E. (13); Jong, M. (11); Joss, S. (9); Li, F. (7); Krogstie, J. (6).

Quadro 11: Publicações de categorias cidades urbanas sustentáveis.

Fonte: Base de dados *Scopus* (junho, 2022)

Os fluxos metabólicos de uma cidade envolvem todos os tipos de materiais necessários para sustentar seus habitantes em todas as atividades que eles realizam; abrangendo recursos que entram, que ficam em estoque na cidade e que saem dela (WOLMAN, 1965). Esses fluxos requerem recursos naturais de entrada e geram resíduos na saída, resultando num passivo ambiental que pode ser mitigado com a aplicação dos princípios da economia circular.

A economia circular propõe a substituição do fim de vida de produtos e materiais (economia linear) pelo emprego dos princípios dos dez princípios da estrutura R: recusar, repensar, reduzir, reutilizar, reparar, reformar, remanufaturar, reaproveitar, reciclar e recuperar.

⁹ O termo “cidade circular”, também se relaciona a uma teoria econômica que analisa a importância da localização de empresas na decisão de compras dos consumidores. Assim, para encontrar estudos acerca de cidade circular no contexto da economia circular, foi necessário unir as palavras-chave “economia circular” e “cidade circular”.

A aplicação desses princípios resulta no aumento do valor e da vida útil de materiais (BOCKEN et al, 2016; KIRCHHERR et al, 2017) .

Considera-se cidade circular como aquela que incorpora os princípios da economia circular em todas as suas funções, estabelecendo um sistema urbano que é regenerativo, acessível e abundante na sua estrutura e planejamento (*by design*); e que tem por objetivo eliminar o desperdício e manter os recursos ativos e com alto valor pelo maior período possível (EMF, 2017, p.7). Destarte, a cidade circular conserva e reutiliza recursos e produtos, compartilhando e aumentando o uso e a utilidade de todos os ativos, com o objetivo de diminuir o consumo de recursos e o desperdício (BYSTRÖM, 2018).

A maioria das definições de cidade circular concentra atenção nos fluxos de materiais e energia com ações estratégicas relacionadas à produção de bens e serviços para o prolongamento do valor de uso dos recursos e para a gestão de resíduos. Isso envolve um ambiente projetado de forma modular e flexível; sistemas de energia renovável e uso eficiente de energia; sistema de mobilidade urbana acessível e eficaz; diminuição de resíduos e transformação desses em recurso; e sistemas de produção e comércio que incentivam ciclos locais. A transição para cidade circular também pressupõe existência de governança adaptativa que gere resultados nas dimensões ambiental, social e econômica (GIRARD e NOCCA, 2019).

O quadro 12 apresenta os principais conceitos, metodologias e estratégias de transição para cidade circular que foram identificados na revisão de literatura, bem como as cidades cujo modelo de transição serviu de objeto de estudo.

Artigo	Conceito de cidade circular	Estrutura e/ou estratégias	Cidades
PRENDEVILLE et al (2017).	É uma cidade que pratica os princípios da economia circular para fechar ciclos de recursos, em parceria com as partes interessadas (cidadãos, comunidade, negócios e geradores de conhecimento), para realizar sua visão de uma cidade preparada para o futuro.	- Metodologia RESOLVE (EMF) - Estruturas de transição “de cima para baixo” e “de baixo para cima”. - Políticas públicas que envolvem desenvolvimento de conhecimento, plataformas de colaboração, regulamentação, estrutura fiscal e infraestrutura (EMF).	Amsterdã, The Hague, Roterdã e Haarlemmermeer (Holanda); Glasgow (Reino Unido); e Barcelona (Espanha).
KRYSOVATYY et al (2018)	Movimento que promove e utiliza uma forma de pensar sistêmica que pode trazer benefícios econômicos, sociais e ambientais às cidades, mantendo a racionalidade econômica em uma abordagem mais sistemática que permite resolver problemas, ao mesmo tempo em que gera receita e melhora a qualidade de vida.	- Centros de Reuso. - Uso de plataformas digitais, - Desenvolvimento tecnológico. - Associação entre a cidade e pequenas fábricas. - Centros de reciclagem. - Separação de resíduos. - Geração de energia com resíduos. - Desenvolvimento de modelos de negócios circulares com apoio do poder público.	Ljubljana (Eslovênia); Copenhague (Dinamarca); São Francisco (EUA); Londres; Zaanstad (Holanda)

MARIN e MEULDER (2018).	Cidades socialmente, ambientalmente e economicamente resilientes com o apoio da economia circular (conceito fundamentado com base em EMF).	O modelo usado indica elementos de conectividade; governança entre os agentes sociais motivadores de circularidade, ciclos locais; indicadores qualitativos e quantitativos; normas, visão e valores; tecnologias limpas; estratégias de ciclo fechado e eficiência de materiais; negócios inovadores; instrumentos de ecologia industrial; e tecnologias relacionadas a cidade inteligente.	Projetos de “bairros circulares”, não concretizados ainda nas cidades de Flandres (Bélgica); Colombes (França); Masdar City, Abu Dhabi; e Living Breakwaters, e Nova York.
WILLIAMS (2019a)	Cidade que promove o processo de regeneração urbana, diferindo dos processos de regeneração atuais, pois seu foco está no uso de motivadores (<i>drivers</i>) ecológicos, para produzir oportunidades econômicas e benefícios sociais nos sistemas urbanos (conceito do CIRCULAR CITIES HUB).	Metodologia do CIRCULAR CITIES HUB, com estratégias de localizar fluxos e atividades, adaptar, substituir, regenerar, compartilhar ciclar (<i>loop</i>) e otimizar. A análise da transição é feita com passo nos passos de mapear ações circulares e suportes a ela, mapear sistemas dinâmicos e monitorar o desenvolvimento das capacidades circulares.	Aplicou na cidade de Estocolmo, tendo foco principal no seu porto, Porto Real de Estocolmo.
GIRARD et al (2019)	Cidade que reduz a quantidade de insumos porque é capaz de reutiliza materiais, energia, água, nutrientes, etc. Ela preserva o natural, o capital feito pelo homem e o capital social, tirando-os do abandono, subutilização ou desperdício (EMF).	Financiamento público, participação da comunidade local, financiamento do setor privado, novos modelos de negócios.	Matera (Itália)
FERREIRA e FUSO-NERINI (2019)	Cidade adaptável que abraça novas tecnologias que virão (como digitalização, mobilidade compartilhada, energia renovável e impressão 3D, entre outros) e permite sinergias e fluxos de materiais.	Considera a metodologia RESOLVE e também análise do fluxo de material (MFA) e análise do ciclo de vida (ACV) como metodologias de mensuração da circularidade, mas que estes ainda apresentam lacunas para mensuração de circularidade urbana. Utiliza a Estrutura de Análise Circular da Cidade (EACC).	Cidade do Porto (Portugal). A cidade tem meta de se tornar circular em 2030.
GRAVAGNUOLO et al (2019)	Conceito construído com base no compromisso de número 71 da Nova Agenda Urbana (2017), que considera que a cidade que adota economia circular se torna autossustentável, regenerativa e resiliente.	As estratégias para transição para cidade circular envolvem a estrutura R em conjunto com ações de cidadão e comunidade, industria 4.0 (principalmente nas industria de plástico e têxtil) e os setores predominantes de energia, água, construção civil, gestão de resíduos e alimentação.	Amsterdã e Roterdã (Holanda), Antuérpia (Bélgica), Londres (Reino Unido), Hamburgo (Alemanha), Marselha (França), Lisboa e Porto (Portugal).

WILLIAMS (2019c)	A cidade circular promove estratégias de ciclagem, adaptação e regeneração, preservando seu capital natural e os serviços ecossistêmicos essenciais.	Se baseia na metodologia RESOLVE (EMF).	Não analisa uma cidade em específico.
GIRARD e NOCCA (2019)	Cidade que organiza os seus sistemas em uma analogia para a organização dos sistemas naturais, onde "nada é desperdício".	Propôs uma estrutura de indicadores para cidade circular que envolve dimensões ambiental, social e cultural, de saúde e bem estar comunitário, econômica e de planejamento urbano. Fundamenta-se na EMF, em relatórios das cidades em transição para circular e em documentos da Organização Mundial da Saúde. E considera a importância de uma governança adaptativa para cidade circular.	Baseou-se no estudo de 14 cidades. Sendo que, delas, estão em transição para cidade circular Londres, Glasgow, Roterdã, Amsterdam, Paris e Antuérpia.
PAIHO et al (2020)	Cidade baseada em ciclos fechados, vagarosos e estreitos de conservação, melhoria, eficiência, compartilhamento e virtualização de recursos; de tal forma que as necessidades de materiais e energia são atendidas, tanto quanto possível, por produção local e recursos renováveis.	Apresentou desafios e elementos de motivação e tipos de negócios para a transição para cidade circular.	Baseou-se em revisão de literatura e em coleta de dados com profissionais de diversas áreas de atuação. Não analisou uma cidade em específico.

Quadro 12: Definições de “cidade circular” obtidas na revisão de literatura.
Fonte: Base de dados *Scopus* (2022).

Infere-se, a partir dos conceitos apresentados no quadro, que cidade circular é aquela que adota os princípios da estrutura R da economia circular por meio da implementação de um conjunto de estratégias estruturado e formalizado que permite regenerar, compartilhar, otimizar, ciclar e substituir recursos; e cujo nível mais alto de transição comporta, em acréscimo, estratégias de adaptação e de desmaterialização. Situações de desmaterialização se relacionam com o princípio “recusar” da economia circular, que, normalmente utiliza estratégias de virtualização. É exemplo disso, serviços de aluguel de bens; ou de substituição de produtos físicos por digitais, como livros.

A ação dos atores sociais é um dos elementos principais para que estratégias de economia circular funcionem bem em cidades, e a transição para cidades circulares requer infraestrutura, investimentos e atuação de formuladores de políticas públicas (PRENDEVILLE et al, 2017). Pesquisa realizada por YALÇIN e FOXON (2021) analisou a implementação de práticas de economia circular nas cidades de Brighton e Hove, no Reino Unido, e considerou que a transição ocorre em multiníveis que envolvem ecossistemas de fluxos naturais,

tecnologias, instituições, estratégias de negócio e estratégias que precisam ser aplicadas por todos os agentes sociais, desde cidadão a empresas e entidades governamentais.

A estrutura de transição para a economia circular pode ser de cima para baixo (*top-down change*) ou de baixo para cima (*bottom-up change*). A transição “de cima para baixo” é uma mudança impulsionada por instituições; tendo governo local como principal agente incentivador de estratégias, políticas e projetos de parceria público-privada. A transição “de baixo para cima” é originada de movimentos sociais e inovação social, como iniciativas e atividades empreendedoras advindas da sociedade, de entidades de terceiro setor e empresas. Quando a transição é impulsionada pela ação governamental, a estrutura de políticas públicas para cidades pode envolver desenvolvimento de conhecimento, plataformas de colaboração, regulamentação, estrutura fiscal e infraestrutura (PRENDEVILLE et al, 2017).

A atividade econômica está inter-relacionada com processos cíclicos ambientais naturais e sociais culturais (KRYSOVATYY et al, 2018). A transição da cidade linear para a circular pode impactar todos esses processos ao contribuir para criação de empregos, ambiente mais limpo, novos negócios e rejuvenescimento dos já existentes; transformando as cidades em berços e catalisadores do desenvolvimento de estratégias de economia circular para ambientes mais regenerativos e resilientes (CIRCLE ECONOMY, 2016; EIB,2020).

Entre as práticas de economia circular para cidades, por exemplo, estão as de construções circulares, que são aquelas projetadas para desmontagem e reutilização de todas as partes. Os prédios circulares são planejados para terem vida longa e sustentável e, quando não tiverem mais utilidade, para serem desmontados e reciclados. Eles têm como vantagem a diminuição de emissão de gases de efeito estufa e de resíduos e a eficiência energética. Em relação ao setor de construção civil com foco em prédios circulares, há três escalas diferentes: a macro, que se refere a cidades e bairros; a meso, que se refere aos prédios, e a micro, que se refere a produtos e componentes (POMPONI, 2016).

Uma cidade circular deve ter os seguintes elementos: construções ambientalmente sustentáveis, sistemas de energia resilientes e renováveis que tenham custo reduzido e impacto ambiental positivo, sistema de mobilidade urbana acessível e produtivo, incentivo à bioeconomia urbana e sistemas de produção que incentivem a criação de ciclagens (*loops*) de valor local. A transição urbana para a economia circular pode ser otimizada por meio de instrumentos de fomento, tais como a implementação de políticas de planejamento urbano; a reciclagem, compartilhamento e reuso de materiais dentro do ambiente urbano ou na sua proximidade; e utilização de tecnologias digitais (EMF, 2017).

A transição para cidade circular demanda escalonamento de estratégias e é um processo multifacetado (KRYSOVATYY et al, 2018; MARIN e MEULDER, 2018). O caminho de transição pressupõe requisitos tais como separação de resíduos e cadeias de logística reversa que permitam a implementação de estratégias de ciclos fechados, existência de indústrias para reprocessamento de resíduos na cidade ou nos seus arredores, sistemas inteligentes de gestão de recursos renováveis e criação de simbiose entre as diversas partes, atividades e bairros da cidade onde uma área possa prover recursos, resíduos e energia que serão reaproveitados em outras para outra (GLADECK et al, 2017; CIRCLE ECONOMY, 2016; GLADECK et al, 2017).

A transição para cidade circular tem como vantagens a melhoria da qualidade de vida, criação de novos empregos e novos modelos de negócios onde se pode empreender, rotinas de reuso e reciclagem que promovem limpeza ambiental, rejuvenescimento de setores de negócios já existentes e criação de novos e melhoria de competitividade (CIRCLE ECONOMY, 2016). Ela também pode contribuir para o alcance de metas do décimo primeiro objetivo de desenvolvimento sustentável, tais como aumentar a urbanização inclusiva e sustentável; reduzir o impacto ambiental negativo *per capita* das cidades; e apoiar relações econômicas, sociais e ambientais positivas entre áreas urbanas, peri-urbanas e rurais.

Na revisão de literatura realizada neste capítulo, foram identificadas quatro metodologias de transição para cidade circular, sendo elas: RESOLVE, cidades circulares como centros, estrutura de análise circular da cidade e a metodologia do Banco de Investimento Europeu.

5.1.1 Metodologia RESOLVE

A metodologia RESOLVE foi desenvolvida pela Fundação Ellen MacArthur e organiza as estratégias de transição para cidade circular em seis tipos (EMF, 2015; PRENDVILLE, 2017): a) regenerar: regeneração de energia e materiais; b) compartilhar: envolve a aplicação dos princípios de reusar, repensar e recusar; c) otimizar: estratégias relacionadas aos ciclos de extensão da vida útil (*slowing loops*) com aplicação dos princípios de remanufaturar, reparar e reformar; d) ciclar (*loop*): se relaciona às estratégias de ciclo fechado (*closed loop*) com aplicação dos princípios de reciclar, reaproveitar e recuperar; e) virtualizar: são estratégias focadas no uso de tecnologia e que contribuem para a desmaterialização; e f) trocar: estratégias de substituição de materiais e produtos antigos por renováveis.

A metodologia RESOLVE distingue ciclos técnicos (resíduos inorgânicos) e ciclos biológicos (resíduos orgânicos). Os materiais pertencentes ao ciclo biológico podem ser reintroduzidos no sistema por meio de processos tais como compostagem e digestão anaeróbica; isso contribui para a regeneração de sistemas vivos como solo, que fornece recursos renováveis para a economia. Ciclos técnicos recuperam e restauram produtos, componentes e materiais por meio de estratégias, tais como de reutilização, reparo, remanufatura e reciclagem (EMF, 2018).

Há críticas à metodologia RESOLVE que consideram que ela é projetada para empresas e não para cidades, que são sistemas mais complexos, ignorando a terra como provedora de recursos naturais, e a necessidade de infraestrutura e capacidade de adaptação de sistemas urbanos. Mas, se a RESOLVE for trabalhada junto com dimensões abrangentes que considerem o consumo, escala e complexidade da cidade, ela pode ser aplicada no ambiente urbano para a transição para cidades circulares (WILLIAMS, 2019b).

5.1.2 Metodologia de cidades circulares como centros

A metodologia de cidades circulares como centros (*The circular cities hub*) surgiu com foco específico de aplicação em áreas urbanas, sendo que a sua criação foi feita com base em pesquisa a respeito das estratégias de economia circular aplicadas em Paris, Londres, Amsterdam, Estocolmo, Bristol e São Petersburgo, entre outras. A partir da análise das estratégias aplicadas nestas cidades, foi verificado que a transição para cidade circular pode seguir caminhos diferentes.

Por essa razão, foram mapeados sete subtipos diferentes de cidades em transição para cidade circular, cada um desses subtipos se relaciona a um conjunto diferente de estratégias de transição (WILLIAMS, 2017):

- a) Cidade local (*the local city*): estabelece ciclos locais de consumo de produtos e serviços, comida orgânica, energia renovável, gestão local dos resíduos e mensuração dos níveis de metabolismo urbano. Esse subtipo de cidade usa estratégias de “localizar”, fluxos de recursos ou de atividades dentro da cidade ou região que sejam habilitáveis para o fechamento do ciclo de recursos. Foco nos setores de energia, alimentos, recuperação de resíduos, reciclagem e reuso.
- b) Cidade ciclada (*the looping city*): há serviços de *upcycling* e uma estrutura que permite recuperação de energia e reciclagem e reutilização de recursos. Esse subtipo de cidade usa estratégias de “ciclar”, focadas em fechar o ciclo de recursos por meio de reciclagem, reforma,

recuperação e reuso de recursos (terra, materiais, infraestrutura, energia e água) dentro da cidade ou região.

c) Cidade de substituição (*substitution city*): promove uso de energias e recursos renováveis, uso de materiais e produtos de vida longa (*slowing loops*) e substituição de estruturas e atividades por outras mais eficientes por meio de alternativas de economia circular. Esse subtipo de cidade usa estratégias de “substituir” recursos não-renováveis por renováveis dentro da cadeia de suprimentos, atividades baseadas em recursos por baseadas em serviços e estruturas não-duráveis por duráveis.

d) Cidade adaptável (*adaptable city*): os materiais de construção são reciclados e reutilizados e há capacidade de resiliência para que espaços e infraestrutura se adaptem a diferentes tipos de utilização. Esse subtipo de cidade usa estratégias de “adaptar” espaços urbanos (infraestrutura, construções e espaços) para mudarem de condições de acordo com a necessidade, evitando geração de resíduos e tecnologias fechadas – que não permitem atualização, por exemplo.

e) Cidade de compartilhamentos (*sharing city*): os recursos e a vida útil estendida e são trocados, alugados e compartilhados. Esse subtipo de cidade usa estratégias de “compartilhar” recursos dentro da cidade por meio de estratégias de troca, compartilhamento, consumo colaborativo, aluguel, empréstimo, entre outras.

f) Cidade regenerativa (*regenerative city*): os recursos naturais da cidade e de sua região são regenerativos, pois há produção e consumo local, poluição reduzida, processos hidrológicos e climáticos regulados, mitigação de áreas contaminadas, sequestro de carbono e biodiversidade protegida. Esse subtipo de cidade usa estratégias de “regenerar” o capital natural por meio do suporte (ciclagem de nutrientes e produção do solo), produção (ex: energia e comida) e serviços de regulação (sequestro de carbono, regulação do clima, regulação do ciclo hidrológico, etc).

g) Cidade otimizadora (*optimizing city*): promove a eficiência no uso dos recursos. Esse subtipo de cidade usa estratégias de “otimizar” o uso de recursos por meio de uso eficiente de tecnologias e da redução geral da redundância de recursos no sistema urbano.

Dependendo da caracterização de cada cidade no que diz respeito principalmente a tamanho, localização, situação socioeconômica e nível de atividade industrial e de serviço; ela pode se enquadrar em um ou mais entre os subtipos de cidades apresentados no modelo e, assim, realizar uma ou mais das partes do modelo. Sendo que, quanto maior for o nível de transição, mais partes do modelo a cidade irá aplicar, gerando uma espiral da transição para cidade circular.

5.1.3 Metodologia de estrutura de Análise Circular da Cidade (EACC)

A estrutura EACC tem o objetivo de analisar a circularidade nas cidades e demonstrar a sua perspectiva multissetorial, ela é composta pelo Diagrama Circular da Cidade (CCD), que é um desenho que mostra as relações que são estabelecidas dentro da cidade e, na sequência, os agentes motivadores (*drivers*) e as sinergias ou estratégias envolvidas. O primeiro passo de aplicação da EACC envolve o desenvolvimento de uma base estrutural que requer elementos como análise de dados demográficos, aporte tecnológico, educação e políticas públicas (FERREIRA e FUSO-NERINI (2019)).

Para construir a EACC, devem ser feitas três tabelas. A primeira delas descreve os agentes motivadores envolvidos: setores, agentes, tecnologias, comportamentos, indicadores, objetivos e situação atual. A segunda tabela de sinergias descreve as estratégias que podem ser empregadas em cada setor envolvido. São exemplos de setores, os de construção civil, transporte, energia, alimentos, gestão de resíduos e gestão da água. Para cada setor, são desenvolvidos conjuntos de estratégias, como como geração de energia com resíduos, agricultura vertical e energias renováveis, entre outros. A terceira mostra políticas, níveis de abrangência (regional, nacional ou internacional), setores afetados e alternativas às lacunas identificadas (FERREIRA e FUSO-NERINI (2019)).

5.1.4 Metodologia do Banco de Investimento Europeu

Esta metodologia de transição para cidade circular considera que a aplicação dos princípios da estrutura R da economia circular requer estratégias que permitam de compartilhamento e aluguel de recursos; berço-berço para produtos, componentes e materiais; bioeconomia urbana com hortas urbanas e compostagem; logística reversa; tecnologias digitais; sistema de mobilidade urbana compartilhado; energia limpa; produção local dentro de ciclos de valor e simbiose industrial, produção de energia renovável local; e construções modulares, compartilhadas e projetadas para serem desmontadas.

Para que esses requisitos/estratégias sejam implementados, há uma estrutura de planejamento, ação e controle fundamentada em quinze passos circulares para as cidades (quadro 13):

Planejamento	1. Caracterizar e analisar o contexto local e os fluxos de recursos e identificar ativos ociosos
	2. Conceituar opções e priorizar os setores com potencial circular.
	3. Criar visão e estratégia circular com objetivos e metas circulares claras.
	4. Fechar os circuitos conectando geradores de resíduos / resíduos / água / calor com compradores

Ação	5. Considerar as opções para estender o uso e a vida útil de ativos e produtos ociosos
	6. Construir e adquirir edifícios circulares, sistemas de energia e mobilidade
	7. Conduzir experimentação circular - tratar de problemas urbanos com soluções circulares.
	8. Catalisar desenvolvimentos circulares por meio de regulamentação, incentivos e financiamento
	9. Criar mercados e demanda por produtos e serviços circulares - seja um cliente lançador.
	10. Capitalizar novas ferramentas de TIC para apoiar modelos de negócios circulares
Mobilização e Monitoramento	11. Treinar e educar cidadãos, empresas, sociedade civil e mídia
	12. Enfrentar e desafiar a inércia linear, enfatizando riscos lineares / destacando oportunidades circulares
	13. Conectar e facilitar a cooperação entre as partes interessadas circulares
	14. Contate e aprenda com pioneiros e campeões circulares
	15. Comunique-se sobre o progresso circular com base no monitoramento

Quadro 13: Os 13 passos circulares para cidades.

Fonte: BYSTRÖM (2018, p. 10)

5.2 INTERAÇÕES ENTRE CIDADE CIRCULAR E OUTRAS CATEGORIAS URBANAS SUSTENTÁVEIS

“Uma estratégia de gestão urbana adaptada às necessidades do futuro é aquela que tanto modifica as práticas do sistema urbano presente quanto projeta a sua expansão promovendo bem-estar em consonância com a redução de entrada de recursos” (NEWCOMBE, 1978, p. 6). Trabalho realizado por JOG et al (2015) em revisão de 12 categorias urbanas sustentáveis considerou que cada uma delas apresenta uma visão diferente sobre a forma de governança e funcionamento da cidade no que diz respeito à infraestrutura, à economia e às interações dela com o ambiente natural.

A cidade circular difere de outras categorias de cidades sustentáveis - como a verde, por exemplo - porque essas outras são focadas, principalmente, em indicadores ambientais, mas não têm foco nos resultados econômicos nos quais suas estratégias podem resultar (KRYSOVATYY et al, 2018). A cidade circular é regenerativa no que diz respeito ao fluxo de recursos, o que contribui para que, diferente das demais, as estratégias dela agreguem valor econômico. Isso ocorre porque essas estratégias contribuem para maximizar o uso de materiais, partes de produtos e produtos que têm o seu valor reestabelecido e continuam fazendo parte de um ciclo econômico abundante, ao invés de serem descartados e deixarem de gerar valor econômico.

O maior nível de interação entre cidade circular e outra categoria urbana sustentável que foi encontrado na leitura de materiais para a construção deste artigo foi com a cidade inteligente (EMF, 2018; PAIHO et al, 2020; PRENDEVILLE et al, 2017; KRYSOVATYY et al, 2018;

MARIN e MEULDER, 2018; GIRARD e NOCCA, 2019; HENDRIKS, 2000); principalmente para que se possa atingir a implementação de estratégias de nível mais alto na transição, como aquelas ligadas a recusar e repensar, que geram virtualização e compartilhamento de recursos. Exemplo disso, são os aplicativos que permitem acesso rápido a serviços de compartilhamento ou aluguel de recursos que vão desde carros a eletrodomésticos e ferramentas. Esses serviços são promovidos por negócios circulares e resultam em redução de custos para os consumidores. Tecnologias digitais aplicadas à cidade circular podem ter impactos positivos em dimensões ambientais, culturais, sociais e econômica. Isso torna a relação entre cidade circular e cidade inteligente ainda mais forte, por contribuir para uma estrutura urbana mais sustentável, principalmente, a partir do aumento de fragilidades na resiliência urbana a partir da pandemia de COVID 19 (BOSONE, et al, 2021).

A relação entre cidade circular e outras categorias urbanas sustentáveis, além da cidade inteligente, exige mais análises. Por exemplo, a relação entre ela e a cidade de baixo carbono, visto que práticas de economia circular na cidade e metodologias aplicadas em cidades de baixo carbono podem se unir em estratégias de simbiose industrial, onde um tipo de indústria utiliza os resíduos de outra (FANG et al, 2017)

Trabalho realizado por LANGERGRABER (2021) relaciona a definição de cidade circular com soluções baseadas na natureza (NBS), a implementação de estratégias de NBS, pode alcançar a recuperação de recursos por meio de ciclagem de água, nutrientes e materiais. Salienta-se também que isso relaciona a cidade circular com a estrutura *Nexus*, visto que, em HORN e PROKSCH (2022), tem-se uma visão holística da cidade circular, cuja implementação de estratégias relacionadas à estrutura *Nexus* contribui para a ciclagem de alimentos, água e energia.

LANGERGRABER et al (2021) demonstrou que há relação entre os desafios de circularidade urbana (UCCs) e cidades com soluções urbanas baseadas na natureza (SBN). Configuram entre os UCCs para a mudança para a gestão circular de recursos: restauração e manutenção do ciclo da água; tratamento, recuperação e reutilização de águas e resíduos; recuperação e reutilização de materiais, eficiência e recuperação energética; e recuperação do sistema de construção; por exemplo. Estratégias de SBN como estão de Águas Pluviais relacionadas ao desenho urbano para melhoria de infiltração e escoamento, sistemas de jardins verticais e telhados Verdes e hortas urbanas têm capacidade de contribuir para circularidade.

O quadro 14 apresenta a síntese das informações levantadas em relação a cada uma das categorias urbanas sustentáveis que foram estudadas neste artigo no que se relaciona a conceito e características principais, bem como as suas interrelações a cidade circular.

Categoria urbana sustentável: ECO-CIDADE			
Conceito	Características	Fontes	Interrelações com Cidade Circular
Fundamentado a partir do Relatório de <i>Brundtland</i> ; é uma cidade que une as dimensões da sustentabilidade por meio de planejamento urbano que envolva transporte, saúde, habitação, energia, desenvolvimento econômico, habitats naturais, participação pública e justiça social. A eco-cidade enfoca ecologia e em encontrar um equilíbrio entre as sociedades humanas e os ecossistemas por meio do <i>design</i> urbano e mudança comportamental.	Energia renovável; mobilidade urbana apoiada em transporte público; qualidade do ar e da água; baixa emissão; conservação de recursos; redução e reutilização de água e resíduos; edifícios verdes; agricultura urbana local; habitação urbana decente e acessível para todos; justiça social com boas oportunidades de trabalho; aplicação dos 3 R (reduzir, reutilizar e reciclar); restauração ambiental de danos ambientais; negócios que equilibrem dimensões sociais e ambientais; projetos de educação ambiental; biorregionalismo com uso eficiente do solo e proteção ao ambiente natural, a biodiversidade e a áreas de produção de alimentos; e uso da tecnologia para gerar sustentabilidade.	LI et al (2019); LIN (2018); ROSELAND (1997); JONG (2016); KENWORTHY (2006); (REGISTER 1987, 2006 <i>apud</i> CUGURULLO, 2018; CAPROTTI (2014)	Eco-cidade é um termo “conceitual”. podendo-se inferir que a transição para cidade circular colabora para o desenvolvimento de eco-cidades, por cumprir alguns dos objetivos dessa e por contribuir de maneira tangencial para os demais; tais como saúde, habitats naturais, biodiversidade e justiça social.
Categoria urbana sustentável: CIDADE SUSTENTÁVEL			
Conceito	Características	Fontes	Interrelações com Cidade Circular
Aquela que reúne um conjunto de abordagens de desenvolvimento sustentável de tal forma que os serviços urbanos envolvem tecnologias ambientais e sociais, planejamento e projeto de cidades novas e existentes compromissadas em maximizar a eficiência dos recursos energéticos e materiais, diminuir o desperdício e melhorar a qualidade de vida.	Promoção de justiça, segurança e saúde, benefícios econômicos, eficiência de recursos, capacidade de inovação no tratamento de resíduos, infraestrutura e capacidade; desenvolvimento de capital humano (redes e ativos que facilitar a educação, coordenação e cooperação dos cidadãos para benefício mútuo), eficiência energética e uso de energias renováveis, segurança hídrica, uso eficiente de recursos, mobilidade urbana, padrões de construção, equidade social e econômica, diminuição do desperdício de alimentos, qualidade de vida e bem-estar; inovação par mitigação de impactos ambientais e fornecimento de serviços humanos e ecossistêmicos; busca de neutralidade de carbono; redução da poluição e ter zero lixo.	TSAI et al (2020); SODIQ et al (2019); BIBRI e KROGSTIE (2017); MATAMANDA (2019); HUOVILA et al (2019); NGUYEN et al (2019); HATUKA et al (2018).	Tal qual, a eco-cidade, a cidade sustentável é um termo “conceitual”. Reafirmando, assim, que para essa tudo o que foi dito anteriormente no que diz respeito à interrelação entre eco-cidade e cidade circular. Acrescentando-se que a cidade circular contribui em muito para a rota de desenvolvimento de cidades sustentáveis no que tange à maximização de eficiência no uso de recursos.
Categoria urbana sustentável: CIDADE VERDE			

Conceito	Características	Fontes	Interrelações com Cidade Circular
Cidades que se desenvolvem respeitando o meio ambiente e as questões sociais e econômicas.	Ar e água limpos; resiliência a desastres naturais; baixo risco de grandes surtos de doenças infecciosas; incentivo a comportamento verde; espaços verdes, uso eficiente da terra, mobilidade, gestão de resíduos; alteração e restauração do ecoambiente, conservação de energia e redução de emissão de carbono, energias limpas, desenvolvimento inclusivo e harmonioso da ecologia, economia e sociedade; saúde, qualidade de vida, planejamento e otimização do uso dos espaços (cidade compacta), resiliência e equidade.	KAHN (2016) <i>apud</i> MEIJERING et al (2014); ARTMANN et al (2019); LIU et al (2014) <i>apud</i> PAN et al (2020); BRITO et al (2019); ANDERSSON (2016); CAMPBELL (2007); ARTMANN et al (2017); BRILHANTE e KLAAS (2018).	A transição para cidade circular colabora para o desenvolvimento cidade verde (também termo “conceitual”) pelas mesmas razões que foram expostas no que tange à eco-cidade e à cidade sustentável. Acrescentando-se aqui o que a cidade verde tem em seu conceito a ênfase do desenvolvimento de cidades equilibrado com desenvolvimento econômico, o que é foco da economia circular, visto que a eficiência de recursos resulta em geração de receitas e/ou diminuição de custos.
Categoria urbana sustentável: CIDADE INTELIGENTE			
Conceito	Características	Fontes	Interrelações com Cidade Circular
Cidades que aplica inovação, tecnologia e governança por meio do uso de tecnologias da informação e da comunicação (TICs), equipamentos, internet das coisas (IoT) e inteligência artificial (AI) em sua estrutura urbana de planejamento, governo, operações e serviços.	A tecnologia é aplicada em diversas áreas e serviços da cidade: administração; meio ambiente; saúde pública; transporte; prevenção de crimes e desastres; educação; logística; gerenciamento de instalações; cultura, turismo, esportes; e ambiente de trabalho entre outras. A união entre cidade inteligente e cidade sustentável, da qual deriva o termo “cidade sustentável inteligente, tem como característica a busca por redução de carbono, melhoria da eficiência energética, ambiente de vida de alta qualidade, áreas verdes urbanas, coleta de tecnologia, governança, requer banco de dados, negócios tecnológicos e busca gerar desenvolvimento econômico. Exige desenvolvimento e modernização industrial.	KUMAR et al (2020); SINGH et al (2020); YIGITCANLAR e KAMRUZZAMAN (2018); HAARSTAD e WATHNE (2019); WU et al (2018); RISTVEJ et al (2020); KRISHNAN et al (2020); BOHLOUL (2020).	A cidade inteligente tem ênfase no uso de inovações tecnológicas e, na sua relação com a sustentabilidade, oferece instrumentos que contribuem para a aplicabilidade de estratégias de cidades circular, resiliente e com soluções baseadas na natureza. As inovações tecnológicas de uma cidade inteligente contribuem para todas os princípios da estrutura R da economia circular. Principalmente as ligadas a compartilhamento, virtualização e otimização de recursos.
Categoria urbana sustentável: CIDADE RESILIENTE			
Conceito	Características	Fontes	Interrelações com Cidade Circular
Cidade que tem a capacidade de manter o funcionamento do seu sistema em caso de estresse ou desastre, permanecendo funcional e entregando	Plano de gestão e redução do risco de desastre, plano de ações e reconstrução em caso de desastres, infraestrutura resiliente, capacidade de continuação na prestação de serviços essenciais, atuação conjunta de agentes públicos e da	LABAKA et al (2019); SPAANS e WATERHOUT (2017); CASAUS (2018); SALVADOR (2019); GIMENEZ	A cidade resiliente tem ênfase na adaptação a mudanças climáticas. A transição para cidade circular colabora, de maneira tangencial, infraestrutura, por meio

serviços devido à sua capacidade de adaptar seu sistema e modo de organização a novas situações.	sociedade civil; identificação e monitoramento contante de pontos de perigo e de vulnerabilidade; zonamento territorial com base em avaliação de riscos e planejamento de estrutura urbana que não permita construções em locais de risco; programas de educação e treinamento para a comunidade; e proteção de ecossistemas naturais; instalação de sistema eficiente de alerta.	et al (2017); UNISDR (2012).	de estratégias como <i>coworking</i> e <i>homeoffice</i> , por exemplo, que permitem compartilhamento e virtualização. E a proteção de recursos naturais, devido à otimização no uso de recursos e de estruturas físicas com
Categoria urbana sustentável: CIDADE DE BAIXO CARBONO			
Conceito	Características	Fontes	Interrelações com Cidade Circular
Cidade que diminui a emissão de carbono sem que isso impacte negativamente os seus resultados econômicos, o foco das estratégias está nos setores de indústria, energia, construção e transportes e gestão de resíduos.	Planejamento de mobilidade urbana para baixa emissão, construções com eficiência energética, reutilização de energia, uso de energias renováveis, inovações tecnológicas para indústria de baixa emissão; estratégias de ação diante das mudanças climáticas, reciclagem e simbiose industrial	SHEN et al (2018); ZHAO et al (2019); LI et al (2018); OHNISHI et al (2018); WU et al (2020); TAN et al (2017); WILLIAMS (2016); LIU e QIN (2016); ZHOU et al (2015); DONG et al (2014)	Entre as categorias urbanas estudadas, a cidade de baixo carbono é a que mais tem características que são atendidas pela transição para cidade circular, visto que a implementação dos princípios da estrutura R contribui para a diminuição de emissões.
Categoria urbana sustentável: SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA			
Conceito	Características	Fontes	Interrelações com Cidade Circular
Intervenções que contribuem para a reestruturação da cidade por meio soluções inspiradas e suportadas pela natureza que favorecem a provisão dos serviços ambientais, a preservação de recursos naturais e infraestruturas verdes; tendo impactos de cunho ambiental, social e econômico.	Construções com telhados e paredes verdes; parques, florestas e áreas verdes urbanas; proteção e restauração de bacias hidrográficas, rios, matas ciliares, florestas, áreas costeiras, áreas de recarga de aquíferos, áreas naturais úmidas e de ecossistemas degradados; conversão de espaços desmatados em espaços verdes integrados à arquitetura paisagística; corredores de drenagem natural; lagoas de bioretenção; agricultura urbana, áreas permeáveis para escoamento de águas pluviais; medidas de proteção contra inundações e erosões; plantação de árvores ao longo de estradas; tratamento e redução de efluentes industriais e municipais; tratamento de resíduos antes do descarte no solo ou água; e proteção de espaços verdes urbanos para estimular a biodiversidade e o equilíbrio entre as espécies animais.	ASTENRATH et al (2020); SONG et al (2019); BUSH e DOYON (2019); TOZER et al (2020); ALMENAR et al (2021); KABISCH et al (2016); EUROPEAN COMMISSION (2015); DUSHKOVA e HAASE (2020); COLLÉONY e SHWARTZ (2019).	Cidades com soluções baseadas na natureza contribuem para a transição para cidade circular por meio de intervenções que contribuam para o tratamento de resíduos antes do descarte no solo ou água, agricultura urbana e tratamento e redução de efluentes industriais e municipais. Salientando-se que, na cidade circular, esses tratamentos de resíduos ocorrem principalmente com reciclagem e reutilização. Se relaciona muito com o subtipo de cidade regenerativa da metodologia de cidades circulares como centros e, conseqüentemente, com as estratégias de “regenerar” desta

			metodologia e da RESOLVE.
--	--	--	------------------------------

Quadro 14: Categorias urbanas sustentáveis e interrelações com cidade circular.

Fonte: Elaboração própria com base na literatura revisada.

5.3 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO

Em relação às metodologias de transição para cidade circular, considera-se que as metodologias RESOLVE e de cidades circulares como centros deveriam ser unidas. Pois, cada princípio da estrutura R da economia circular se relaciona a um conjunto de estratégias de transição para cidade circular que, na união das duas metodologias, ficam da seguinte forma: localizar, ciclar, regenerar, otimizar, adaptar, compartilhar, virtualizar e substituir (figura 18).

RESOLVE: regenerar, compartilhar, otimizar, ciclar, trocar, virtualizar		
Cidade circular como centro: regenerar, compartilhar, otimizar, ciclar, substituir (trocar), adaptar, localizar		
União Proposta entre os dois modelos		
PRINCÍPIOS	ESTRATÉGIAS	
Recusar	Adaptar, Virtualizar, Substituir, Compartilhar	Abandonar a função de um produto ou tê-la de uma outra forma
Repensar	Localizar, Compartilhar, Otimizar	Tornar o uso do produto mais intensivo (compartilhamento) ou dar ao produto mais funções:
Reduzir	Localizar, Otimizar	Aumentar a eficiência de recursos ou diminuir o uso de recursos.
Reutilizar	Localizar, Otimizar, Ciclar, Compartilhar, Adaptar	Reutilizar produto descartado em funcionamento no mesmo função por um usuário diferente.
Reparar	Localizar, Otimizar, Ciclar	Reparar produtos defeituosos para que a função original pode ser preservado.
Reformar	Localizar, Otimizar, Ciclar	Recondicionar produtos antigos para trazê-los atualizado.
Remanufaturar	Localizar, Otimizar, Ciclar	Reutilizar os componentes funcionais do produto para fazer produtos comparáveis.
Reaproveitar	Localizar, Otimizar, Ciclar	Reutilizar o produto ou seus componentes em um novo produto com uma função diferente.
Reciclar	Localizar, Otimizar, Ciclar, Adaptar	Reutilizar os materiais do produto para aplicação em novos produtos.
Recuperar	Localizar, Ciclar, Regenerar	Incinerar os materiais com recuperação de energia Regenerar recursos hídricos, terra e vegetação.

Figura 18: Relação entre princípios e estratégias de cidade circular.

Fonte: Elaboração própria com base nas metodologias RESOLVE (EMF, 2018) e Cidades Circulares como Centros (WILLIAMS (2017)).

O diagrama apresentado na figura 19 foi realizado de tal forma onde foram colocadas as principais características identificadas na revisão de literatura, para cada uma das categorias urbanas sustentáveis estudadas neste capítulo. Verifica-se, por meio da figura, que a cidade circular, situada no centro da figura, compartilha características com todas as demais categorias estudadas. As características elencadas neste diagrama tiveram como fonte de pesquisa os

mesmos autores citados anteriormente no quadro 14 - categorias urbanas sustentáveis e interações com cidade circular.

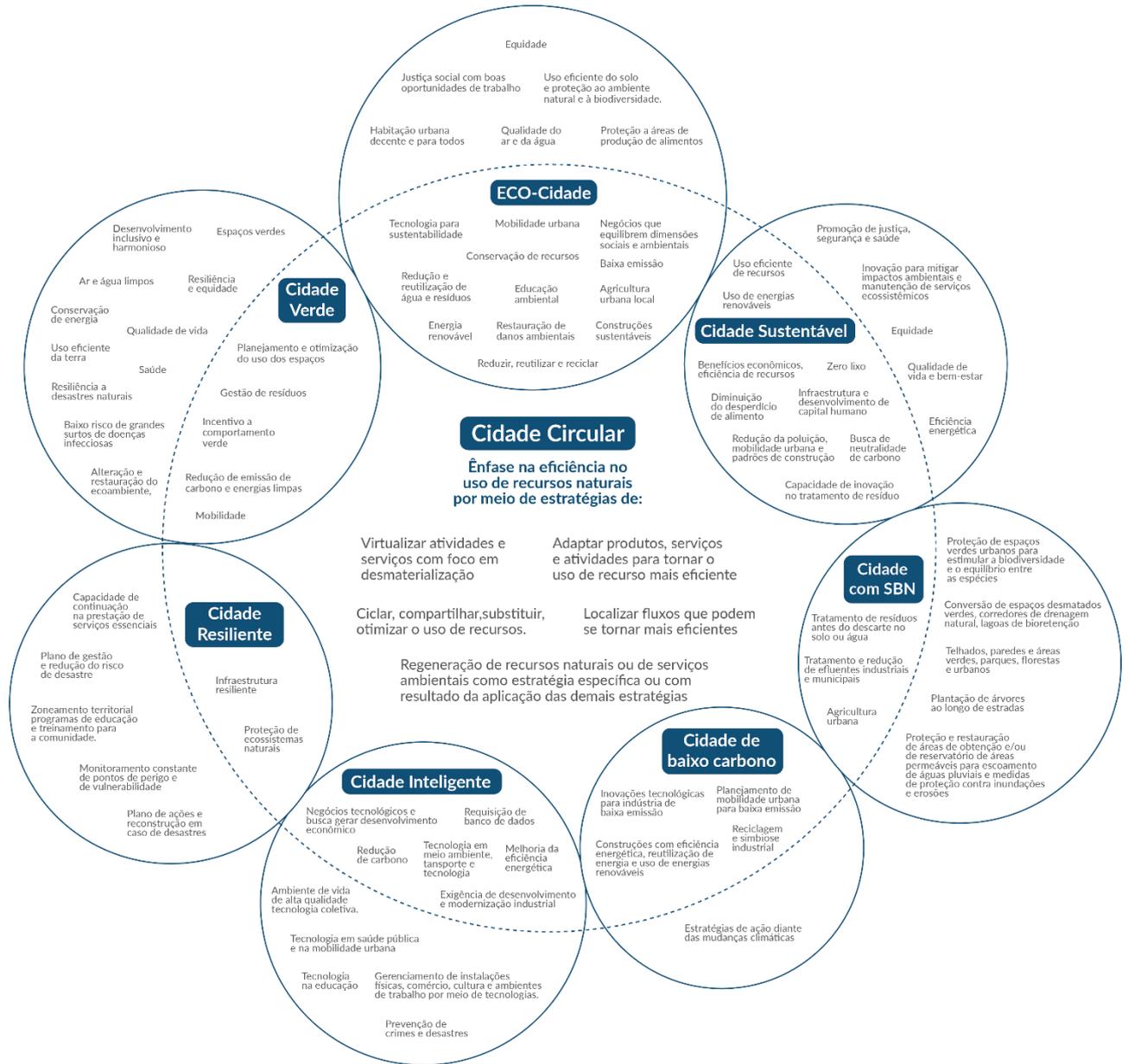


Figura 19: Características de outras tipologias urbanas sustentáveis contidas na cidade circular. Fonte: Elaboração própria com base na revisão de literatura (2022).

Destarte, na análise da relação entre cidade circular e cada uma das demais categorias urbanas sustentáveis estudadas neste artigo, infere-se que:

- a) Cidade resiliente: a transição para cidade circular colabora para que a cidade seja também um ambiente mais resiliente, visto que, principalmente a ciclagem de recursos naturais
- b) Cidade de baixo carbono: uma cidade circular incorpora em si quase todas as características de uma cidade de baixo carbono. Podendo-se inclusive afirmar que uma cidade circular é uma cidade de baixo carbono. Mas o inverso não é verdadeiro, pois a cidade circular é mais que uma cidade e baixo carbono.
- c) Cidade com soluções baseadas na natureza: a implementação de algumas soluções baseadas na natureza, conforme demonstrado neste capítulo, colabora para a transição para cidade circular principalmente no que tange ao momento de transição focado na ciclagem de recursos orgânicos, tais como água e alimentos.
- d) Cidade inteligente: as tecnologias da cidade inteligente são necessárias para a implementação de estratégias de cidade circular tais como compartilhamento, localização, virtualização, trocas, substituição e adaptação. Afirmando-se assim que o alcance dos princípios de reciclar, reutilizar, repensar e recusar exige a transição para uma “cidade circular inteligente”.
- e) Eco-cidade, cidade sustentável e cidade verde: são ideais a serem alcançados, dado a multiplicidade de objetivos a serem atingidos. A transição para cidade circular colabora para a transição para essas categorias, consideradas neste artigo como “conceituais”.

Conclui-se que as principais características de uma cidade circular são relacionadas ao fato de que ela é uma cidade que: a) localiza fluxos que podem se tornar mais eficientes; b) cicla, compartilha, substitui e otimizar o uso de recursos; c) regenera recursos naturais ou de serviços ambientais como resultado da aplicação das suas estratégias; d) adapta produtos, serviços e atividades para tornar o uso de recurso mais eficiente; e) tem foco no resultado econômico, mas também resultados em resultados positivos nas dimensões social e ambiental da sustentabilidade; e f) em seu nível mais alto de transição, pode envolver estratégias de virtualização de atividades e serviços com foco em desmaterialização.

Conclui-se também que as quatro metodologias apresentados neste artigo devem ser usadas em conjunto no planejamento e gestão do processo de transição para cidade circular. Sugere-se que: a) a metodologia EEAC seja usado no processo inicial de coleta e organização de informações; b) haja fusão entre os metodologias RESOLVE e de cidades circulares como centro, tal qual demonstrado neste artigo, para organizar princípios e estratégias da transição; e

c) a estrutura apresentada na metodologia do Banco Europeu de Investimentos seja aplicada em formato de planejamento estratégico capaz de conter todas os programas/projetos que serão aplicados na transição da cidade como um todo.

Em relação à comparação entre cidade circular e as demais categorias urbanas sustentáveis trabalhadas neste artigo, verificou-se que a cidade circular compartilha características com todas as demais categorias, conforme demonstrado neste estudo, sendo assim, a sua transição colabora para a sustentabilidade urbana e para o caminho de implementação de todas as demais categorias aqui apresentadas.

6. CAMINHOS DE TRANSIÇÃO PARA CIDADE CIRCULAR

O objetivo específico deste capítulo é descrever os agentes motivadores da transição para cidade circular. O caminho de pesquisa realizado ao longo da tese culmina agora na elaboração de uma estrutura de requisitos à transição para cidade circular – baseada em OCDE (1997) - que envolve quatro categorias: base de ciência, tecnologia e inovação, condições estruturais, governança e dínamo da inovação. Na sequência, é elaborado um quadro resumo (*canva*)¹⁰ onde foram organizados os principais tópicos envolvidos em projetos e programas de transição para cidade circular. Esse *canva* foi aplicado como exemplo na tese para demonstração de projetos/programas de transição da cidade “linear” para a “circular” na cidade de Amsterdam (Holanda). Paralelo a isso, foram identificados projetos de economia circular em cidades brasileiras.

Salienta-se que não houve o intuito de estabelecer comparação entre o caso europeu de transição para cidade circular e as de práticas de economia circular aplicadas em cidades do Brasil. Mas, sim, de melhor compreender a complexidade exigida pela transição para cidade circular. Assim, a contribuição deste capítulo para a tese é que a estrutura de requisitos apresentada nele demonstra a viabilidade da transição para cidade circular.

Outrossim, afirma-se, com base na de revisão de literatura realizada na elaboração desta tese, que “transição para cidade circular” é diferente de “cidade com projetos de economia circular”. Isso porque, no processo de transição para cidade circular, conforme será demonstrado ao longo deste capítulo, há sempre um projeto/programa de transição documentado que tem como características principais: a) planejamento estratégico envolvendo diversos setores; b) desenvolvimento de estratégias que envolvem diferentes tipos de atores sociais dentro de cada setor; c) estabelecimento de estratégias que contemplem a maior quantidade possível de princípios da estrutura R da economia circular; e d) ação protagonista do poder público por meio de legislação, regulamentação e motivação dos demais atores sociais envolvidos nas estratégias de transição. Assim, se não houver todos esses elementos, considera-se que não é um caso de transição para cidade circular, mas apenas de aplicação de projetos ou programas de economia circular em cidade.

¹⁰ . Canva é um quadro que contém o resumo de um projeto (*Canva Pitch*) ou modelo de negócio (*Canva Business Model*). A metodologia de canva foi desenvolvida por OSTERWALDER e PIGNEUR (2010).

6.1 ESTRUTURA DE REQUISITOS À TRANSIÇÃO PARA CIDADE CIRCULAR

A estrutura de requisitos à transição para cidade circular apresentada neste capítulo teve como base a revisão de literatura desta tese e a aplicação de questionário (apêndice A) aplicado a membros de cinco instituições envolvidos com pesquisas ou com projetos/programas de economia circular. Conforme foi explicado no capítulo de metodologia desta tese, o questionário foi composto por cinco questões abertas e teve o objetivo de verificar, na percepção dos respondentes, quais eram os principais requisitos, estratégias e desafios à implementação de programas/projetos de economia circular no geral, e não somente à transição para cidade circular, visto que essa transição é impactada por práticas de todos os níveis (produto, empresa e cidade/região). As variáveis de pesquisa que conduziram a elaboração do questionário foram ações, requisitos, desafios e papel de entidades públicas e privadas no que tange ao caminho para a economia circular.

No quadro 15, tem-se a fundamentação das questões do questionário com base na revisão de literatura elaborada nesta tese, principalmente no capítulo dois, que tratou de requisitos da economia circular.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA DO QUESTIONÁRIO DE PESQUISA	
QUESTÃO 01	
Principais requisitos de economia circular de acordo a revisão bibliográfica da tese	Fontes
<p>Políticas públicas (legislação, incentivos fiscais, barreiras fiscais, governança com protagonismo do setor público, estrutura e incentivo para reciclagem e logística reversa)</p> <p>Tecnologia (desenvolvimento, incentivo e transferência de tecnologias limpas, criação e gerenciamento de bancos de dados e indicadores)</p> <p>Governança (mobilização de atores sociais com envolvimento de comunidade local e de empresas e o protagonismo de instituições públicas, coordenação de políticas públicas, relação ganha-ganha para todos os envolvidos da cadeia de produção e consumo, extensão da responsabilidade do produtor.</p> <p>Processo produtivo mais alinhado com os princípios da economia circular (<i>eco-design</i>, tecnologias de produção mais limpa, controle de qualidade e certificações, padronização internacional, uso de energias renováveis, simbiose industrial, cadeia de suprimentos comprometida com princípios os princípios de economia circular.</p> <p>Novos modelos de negócios (novos modelos de negócios sintonizados com os princípios da economia circular e situados com proximidade regional; mudança de cultura, estratégia e cultura organizacional; capacidade de a economia circular aplicar modelos de produtos, serviços e negócios que contemplem alternativas de substituição aos de extração e produção primária.</p>	<p>YONG (2007);EMF (2015); ZHU (2011); GHISELLINI (2016); HOBSON (2016); SARKIS e ZHU (2008); WUBBEKE (2014); KALMYKOVA, SADAGOPAN e ROSADO (2018); WU (2014); TINGLEY e CULLEN (2017); FERRANATO et al (2019); LEI (2004); ELIA, GNONI e TORNESE (2017); HUYSMAN et al (2017); RIZO et al (2016); SAUVÉ (2016); SCHEEPENS (2016); DADDI, NUCCI e IRALDO (2017); MORAGA et al (2019); CORCELLI (2019); HOSSAIN e THOMAS (2019); NIERO e KALBAR (2019); HAUPT, VADENBO e HELLWEG (2016); KACPRZAK et al (2017); WEN (2015); KALMYKOVA (2016); SUN et al (2017); LI (2013); ITOIZA (2014); MAYER et al (2018); WITJES (2016); GEISSDOERFER et al (2018); MISHENIN et al (2018); ADEME (2015); WINKLER (2011); BOCKEN (2016); MORENO (2016); BALDASSARRE et al (2019); DESPEISSE et al (2017); HAAS (2015), SCARPELLINI et al (2019); TINGLEY e CULLEN (2017); DESPEISSE et al (2017); SCHROEDER et al (2018); EMF (2013); MORENO (2016); FRATINI, GEORG, e JØRGENSEN (2019); TURA et al (2019); SCHROEDER et al (2018);</p>

	LINDER e WILLIANDER (2017); ZINK e GEYER (2017).
PERGUNTA	Quais são os principais REQUISITOS que na sua visão são mais importantes para que se tenha práticas e projetos de economia circular acontecendo DENTRO DE CIDADES no Brasil? (Pode citar e comentar um ou mais requisitos que considere mais importantes entre os elencados acima e/ou citar e justificar outro que não esteja elencado na listagem apresentada).
Significado da palavra “requisito” neste estudo.	É aquilo que precisa ser feito para que um resultado seja alcançado, uma estratégia seja implementada ou uma barreira (desafio) seja vencido.
Objetivo da questão	Identificar quais são os requisitos mais importantes na visão dos respondentes, inclusive do ponto de vista da sua área de atuação e da sua instituição, e se há outros requisitos que esses consideram importantes e que não foram vistos na revisão de literatura. Esta questão é ponto chave para o objetivo geral da tese.
QUESTÃO 02	
Principais barreiras ou desafios à economia circular de acordo a revisão bibliográfica da tese	Fontes
<p>Políticas públicas: As barreiras ao uso de produtos reciclados como matéria-prima; Falta de Legislação e de regulamentação (normatização, certificações, padronização, etc); Os estoques de resíduos aumentam a taxas mais altas que a estrutura para reciclagem; Falta de incentivos financeiros para financiamento a iniciativas de economia circular, como baixo custo de matérias virgens.</p> <p>Tecnologia e políticas públicas: Assimetria do conhecimento, por exemplo, o conhecimento sobre a disponibilidade e a qualidade dos fluxos de recursos secundários.</p> <p>Tecnologia: Desenvolvimento e domínio tecnológico, envolvendo desde bancos de dados compartilhados a inovações como impressora 3D, internet das coisas e indústria 4.0; Desenvolvimento tecnológico que permita escalonamento comercial das iniciativas de economia circular.</p> <p>Produção: uso de energia de fontes fósseis para a reciclagem; Foco em modelos lineares de negócios e de estratégias de produção; muitos produtos têm projeto para durar pouco tempo e são de difícil manutenção e reparo; Custo mais alto de alguns produtos reciclados.</p> <p>Produção e políticas públicas: Fragmentação da indústria; há falta de infraestrutura para todos os tipos de mercado que a natureza econômica da economia circular exige: mercado para bens finais, bens em fim de vida, sucata não processada, sucata semiprocessada, materiais reciclados, produtos recondicionados e produtos reparados em segunda mão. Além do fato de que estes “produtos da economia circular” compete diretamente com produtos primários, que são aqueles oriundos de matéria-prima virgem.;</p> <p>Governança e políticas públicas: Falta de foco na dimensão social, a reciclagem é vista como um subtrabalho, por exemplo; poucos projetos de demonstração em larga escala e falta de dados sobre os resultados e impactos.</p> <p>Governança: Falta infraestrutura eficiente, como exemplo a estruturação da cadeia de suprimentos; Falta de cultura de cooperação entre os atores sociais envolvidos nas iniciativas de transição para economia circular.; Interação com os consumidores e baixa cultura de busca de produtos de “economia circular” por parte dos consumidores, que preferem produtos novos; Falta de informação a respeito de projetos, estruturas e produtos de economia circular.</p>	<p>HAAS (2015); CIRCLE ECONOMY (2016), SARKIS e ZHU (2008); TURA et al (2019); FERRANATO et al (2019), SCARPELLINI et al (2019); KIRCHHERR (2018); KIRCHHERR (2018); RANTA et al (2018); WUBBEKE (2014); DESPEISSE et al (2017); SCHROEDER et al (2018); BOCKEN et al (2016); ZINK e GEYER (2017); GOVINDAN e HASANAGIC (2018); TINGLEY, COOPER e CULLEN (2017); DESPEISSE et al (2017); GENOVESE et al (2017); CIRCLE ECONOMY (2016); GLADECK et al (2017), SCARPELLINI et al (2019); KIRCHHERR (2018); KIRCHHERR et al (2017), KIRCHHERR (2018), RANTA et al (2018); TINGLEY, COOPER e CULLEN (2017).</p>

PERGUNTA	Quais são os principais BARREIRAS que na sua visão são mais importantes para que se tenha práticas e projetos de economia circular acontecendo DENTRO DE CIDADES no Brasil? (Pode citar e comentar um ou mais requisitos que considere mais importantes entre os elencados acima e/ou citar e justificar outro que não esteja elencado na listagem apresentada).
Significado da palavra “desafio” neste estudo.	É uma barreira, uma dificuldade que precisa ser vencida para que se alcance um determinado objetivo ou se implemente uma determinada estratégia.
Objetivo da questão	Identificar, na visão dos respondentes, os desafios à implementação da economia circular contribui para que se pudesse visualizar melhor os requisitos necessários à transição para cidade circular.
QUESTÃO 03	
Ações e estratégias específicas para cidades	Fontes
Centros de Reuso, Uso de plataformas digitais, Desenvolvimento tecnológico, Associação entre a cidade e pequenas fábricas, Centros de reciclagem, Separação de resíduos, Geração de energia com resíduos., Desenvolvimento de modelos de negócios circulares com apoio do poder público, Governança, planejamento urbano, uso de energia limpas. As estratégias para transição para cidade circular envolvem a estrutura R em conjunto com ações de cidadão e comunidade, indústria 4.0 (principalmente nas indústria de plástico e têxtil) e os setores predominantes de energia, água, construção civil, gestão de resíduos e alimentação. Políticas públicas que envolvem desenvolvimento de conhecimento, plataformas de colaboração, regulamentação, estrutura fiscal e infraestrutura.	PRENDEVILLE et al (2017).; KRYSOVATYY et al (2018); MARIN e MEULDER (2018); FRATINI et al (2019); WILLIAMS (2019a); GIRARD et al (2019). FERREIRA e FUSO-NERINI (2019); FERREIRA e FUSO-NERINI (2019); WILLIAMS (2019b); GIRARD e NOCCA (2019); PAIHO et al (2020); EMF (2017).
PERGUNTA	Cite as 3 principais ESTRATÉGIAS que, na sua visão ou da sua instituição, são mais importantes para que se tenha práticas e projetos de economia circular acontecendo DENTRO DE CIDADES , em especial, aquelas situadas em países em desenvolvimento? Se possível, justifique sua resposta. (As estratégias citadas por você podem ou não estar entre as elencadas acima).
Significado da palavra “estratégia” neste estudo.	Estratégia é a ação ou conjunto de ações empregados para o alcance de um determinado objetivo.
Objetivo da questão	Identificar, na visão dos respondentes, as principais estratégias que podem contribuir para a transição para cidade circular
QUESTÃO 04	
Ações que podem ser tomadas por atores envolvidos no processo de transição para economia circular em cidades	Fontes
a. Poder público: Treinar e educar cidadãos, empresas, sociedade civil e mídia; capacitar servidores públicos; desenvolver políticas públicas implementadas por meio de legislação, parceiras público-privadas, incentivos financeiros, regulamentação e especificações técnicas; instituir de imposto para que entidades privadas contribuam com a reciclagem de resíduos gerados no fim de vida de resíduos da sua cadeia produtiva; e integração entre governo nacional e governos locais; ente outros. b. Empresas: Conectar e facilitar a cooperação entre as partes interessadas; entrar em contato e aprender com pioneiros e campeões circulares; comunicar a sociedade ou comunidade local sobre as suas ações e progresso circular com base no monitoramento; fazer projetos institucionais para economia circular; e ações de lobby para criação de legislação para economia circular e programas públicos de incentivo; e implementação de <i>eco-design</i> e avaliação de ciclo de vida; entre outros. c. Empresas e poder público em conjunto: buscar parcerias público-privado; incentivar o voluntariado para ações	BYSTRÖM (2018); CIRCLE ECONOMY AND THE CITY OF AMSTERDAM (2020); KAZA (2018); EJATLAS, 2019).

<p>circulares; criação de espaços e mecanismos de promoção à discussão; adoção de ferramenta integrada de arquivamento, gestão e compartilhamento de dados; campanhas educacionais; gestão da informação, permitindo compartilhamento de casos de sucesso que podem ser replicados; e parceria público-privada; entre outros.</p> <p>d. Sociedade civil: Engajamento em estratégias da Estrutura R da economia circular cujo sucesso depende em grande parte do seu comportamento e ação (repensar, recusar, reduzir, reutilizar, reparar, reformar, reaproveitar e reciclar); buscar aprender; e fazer a separação eficiente de resíduos para a coleta seletiva; entre outros.</p>	
PERGUNTA	Cite para cada tipo de ator social (empresa, poder público e sociedade civil) um tipo de conduta ou ação que você considera como principal a ser realizada para que ocorram projetos ou programas de economia circular dentro de cidades, em especial em cidades situadas em países em desenvolvimento. (Fique à vontade para citar mais de uma ação por ator social, para citar ações que estejam ou não entre as elencadas nesta questão e para justificar ou não as ações citadas por você).
Significado da palavra “ator social” nesta pesquisa.	Pessoa física ou jurídica cuja ação ou omissão impacta positivamente ou negativamente ou determinado objeto ou fenômeno em estudo.
Objetivo da questão	Identificar, na visão dos respondentes, como os atores sociais dos mais diversos tipos podem colaborar para a implementação de projetos de economia circular em cidades e quais os tipos de ações que podem ser realizadas por eles.
QUESTÃO 05	
Ações que podem contribuir para reciclagem em cidades	Fontes
Promoção de reciclagem primária e secundária; Gestão de resíduos e programas zero-resíduos; Criação de redes de reciclagem com apoio a catadores, e com empresas de pontos de coleta e de plantas de reciclagem; mineração urbana; Implementação de separação de alta qualidade do lixo doméstico; Recuperação de lodo de esgoto urbano para geração de insumos para fertilizantes e para energia.	KALMYKOVA, SADAGOPAN e ROSADO (2018); SUN et al (2017); MALINAUSKAITE et al (2017); KACPRZAK et al (2017); SCARPELLINI et al (2019); GREGSON, FULLER e HOLMES, 2015); FERRANATO et al (2019), ZELLER et al (2018); GHISELLINI (2016), YOUNG (2007); DJIAN (2004); WINKLER (2011); ITOIZA (2014); WUBBEKE (2014); HAAS (2015); EMF (2013); GREGSON (2015); (BOCKEN, 2016); MORENO (2016); FERRANATO et al (2019).
PERGUNTA	Cite REQUISITOS e BARREIRAS que existem para a RECICLAGEM dos seguintes tipos de materiais ou resíduos: alumínio, vidro, plástico e restos de alimentos.
Significado da palavra “reciclagem” neste estudo.	Utilizar os materiais de um produto (normalmente em final de vida) para aplicação em outro produto (normalmente em berço).
Objetivo da questão	Identificar requisitos e barreiras específicos para a reciclagem de resíduos.

Quadro 15: Fundamentação teórica para elaboração do questionário de pesquisa.

Fonte: Elaboração própria.

A transição para ‘cidade circular’ precisa atender a um conjunto de requisitos básicos que podem ser estruturados. O caminho de revisão de literatura e a análise dos questionários aplicados demonstrou que a transição para cidade circular envolve elementos de cunho econômico, governamental, tecnológico, ambiental, social, comportamental, cultural, regulatório, mercadológico e de políticas públicas e governança. O quadro 16 mostra a síntese dos resultados do questionário.

Ações	<ul style="list-style-type: none"> - Coleta seletiva, necessitando para isso de separação de resíduos na fonte geradora. - Tratamento de resíduos orgânicos. - Sensibilização e conscientização de todos os envolvidos com foco no engajamento de entidades públicas, terceiro setor e cidadãos. - Desenvolvimento e difusão de conhecimento e informação acerca da economia circular e de suas práticas com campanhas públicas. - Responsabilidade compartilhada pela indústria de materiais de difícil descarte. - Utilização de resíduos para a geração de energia. - Políticas públicas e incentivos fiscais. - Desenvolvimento de modelos de negócios circulares.
Requisitos	<ul style="list-style-type: none"> - Responsabilização da indústria pelos produtos colocados no mercado, que seja de berço a berço. - <i>Design</i> sustentável - Conhecimento e interesse dos gestores públicos para realizar a transição para um o modelo de cidade circular. - A capacidade das cidades fazerem coleta seletiva e darem destinação adequada aos resíduos; - Incentivo ao desenvolvimento das cooperativas e do seu papel. - Educação ambiental. - Taxa de lixo em função da geração. - Incentivos e engajamento da administração pública local; - Plano urbano para sustentabilidade - Redesenho (<i>eco-design</i>) de materiais plásticos, principalmente embalagens, com foco no foco no ciclo de vida berço ao berço. - Fomento à cadeia de reciclagem do vidro, que é um gargalo. - Reaproveitamento de material orgânico com usinas de compostagem e com geração de energia.
Desafios	<ul style="list-style-type: none"> - Implementação da responsabilidade compartilhada entre indústria, importadores, distribuidores, comerciantes e consumidores. - Falta de valorização e fomento da produção local. - Falta de compras públicas sustentáveis. - Falta priorização de políticas públicas e legislações já existentes que apoiam transversalmente a economia circular como o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). - Falta de incentivo à cultura da sustentabilidade, com comportamento de consumo e de descarte consciente. - Aumentar a capacidade fiscal das cidades. - Falta de incentivos e acesso a recursos, capacitação e informação.
Papel dos atores sociais (públicos)	<ul style="list-style-type: none"> - Melhoria nas políticas, como por exemplo a mudança de responsabilidade compartilhada por responsabilidade estendida. - Implantação de instrumentos econômicos. - Liderar os demais atores sociais e monitorar resultados. - Formalizar condutas por meio de requisitos legais, por meio do seu papel normativo. - Promover coleta seletiva e destinação adequada.
Papel dos atores sociais (privado)	<ul style="list-style-type: none"> - Implementação de instrumentos que igualem as condições para que seja viável ações de economia circular. - Internalização de custos pelos envolvidos em todas as etapas da cadeia.

Quadro 16: Síntese das respostas obtidas no questionário.

Fonte: Elaboração própria.

É possível analisar, a partir dos resultados do questionário, que os respondentes confirmaram a importância dos requisitos, papéis de atores sociais, estratégias e ações para transição para cidade circular que foram identificados na revisão de literatura. Foi interessante verificar, no caso específico de quando os respondentes falam do Brasil, o papel central do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) no que diz respeito à gestão de resíduos no país. Essa legislação estabelece a responsabilidade compartilhada na gestão de resíduos sólidos

urbanos no Brasil, mas não regulamenta de maneira clara qual é a responsabilidade, função ou papel de cada um dos agentes dentro da cadeia. Isso dificulta a implementação de práticas de economia circular, principalmente em relação à reciclagem, e aponta para um importante agente motivador para que estratégias de economia circular sejam bem sucedidas na cidade, que é a base estrutural, de responsabilidade principal do poder público, por meio de medidas tais como regulamentações e incentivos. Outro ponto, ressaltado pelos respondentes em relação à importância desta base estrutural é a dificuldade que alguns resíduos têm de serem ciclados:

Cada material tem a sua especificidade com variação de valor de comercialização, dependendo da limpeza, quantidade e comprador [...]. Alumínio quase volta sozinho ao mercado pelo seu alto valor de comercialização. Entretanto, há vários plásticos sem viabilidade de comercialização, ou por estarem impregnados de outro material, ou por *estarem misturados com biodegradável* ou pelo seu baixo valor de mercado [...]. O vidro, embora tenha a reciclabilidade de 100%, tem baixo valor de mercado, além do risco de manuseio. Com a distância da indústria e a ausência de LR [lei de responsabilização] na cadeia, há a dificuldade do seu retorno (Relato do questionário – Membro da ABAL).

A resposta supracitada demonstra tanto a importância da base estrutural, como também a necessidade de projeto de produto por parte da indústria e educação para a coleta seletiva realizada de maneira correta: “há vários plásticos sem viabilidade de comercialização, ou por estarem impregnados de outro material, ou por estarem misturados com biodegradável ou pelo seu baixo valor de mercado” (Relato do questionário – Membro de entidade que reúne empresas brasileiras de reciclagem).

Também é possível compreender a importância de um conjunto de requisitos organizados em estrutura: “...a distância da indústria e a ausência de LR [lei de responsabilização] na cadeia, há a dificuldade do seu retorno” (Relato do questionário – Membro da ABAL). Com isso, verifica-se que a problemática envolve desde elementos tais como legislação até a existência de uma estrutura de governança que possa unir redes de cidades. A tese irá abordar melhor essa temática no capítulo seis.

Conforme será visto no decorrer deste capítulo, a estrutura de requisitos à transição para cidade circular é igual seja em uma cidade como Amsterdam ou se for, futuramente, pensar essa transição para uma cidade brasileira. Reiterando-se que o principal, é a base de regulamentação e de incentivos: “a logística está estruturada e funcionando. A indústria aprendeu como fazer; o Brasil tem uma utilização de sucata que está entre as maiores do mundo. Hoje a maior barreira é tributária” (Relato do questionário – Membro da ABAL).

Com base nos requisitos e nas barreiras à transição para cidade circular que foram identificados na revisão de literatura e nos questionários aplicados, verificou-se que esses

requisitos poderiam ser estruturados de tal forma que se possa ir desde a preparação de um projeto/programa para implementação de estratégias de economia circular, até as fases de comunicação, desenvolvimento e operação. A figura 21 mostra esta organização dos requisitos.

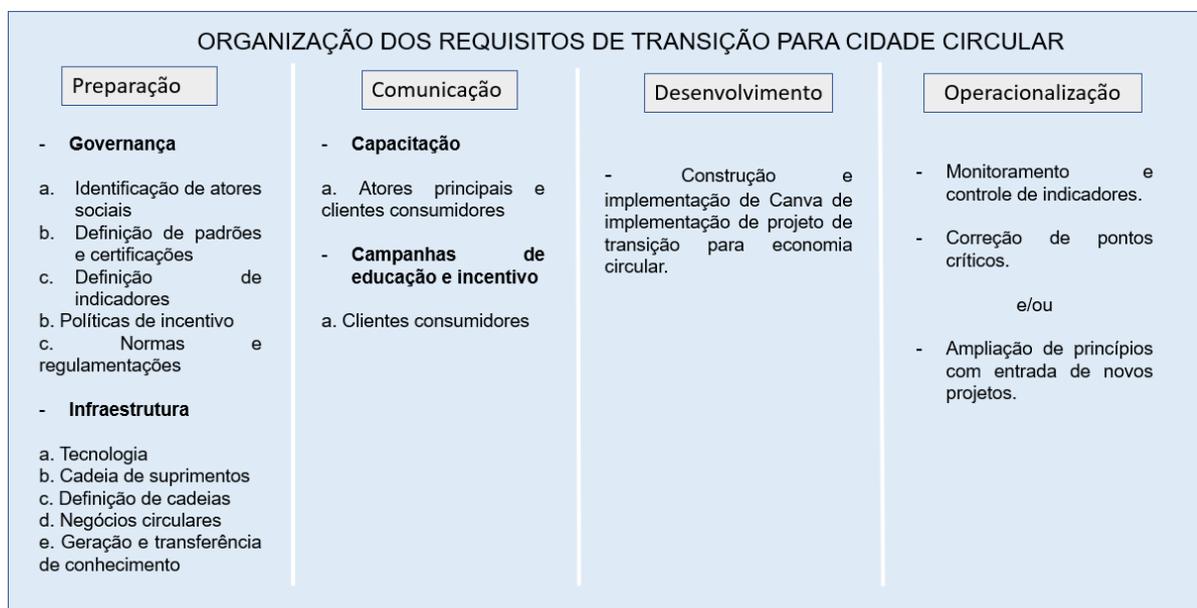


Figura 21: Organização de requisitos de transição à cidade circular.

Fonte: elaboração própria com base na revisão de literatura e na análise dos questionários.

“Um organismo é tão forte quanto o elo mais fraco da sua cadeia ecológica” (LIEBIG, 1840, *apud* ODUM, 1953, p. 32). Em analogia a essa afirmação, considera-se, no contexto de sustentabilidade urbana, que uma cidade é sustentável na medida em que é forte ou fraca a sua corrente de atores sociais no que diz respeito às práticas e aos modelos de governança e de gestão que são implementados nela. Por isso, todos os atores sociais envolvidos em um programa/projeto de transição para cidade circular devem ter suas funções e papéis pré-estabelecidos. Esses atores podem ser instituições de primeiro, segundo e terceiro setor cuja atuação é necessária para a transição para cidade circular.

O primeiro setor é formado por instituições públicas que dão suporte às estratégias de circularidade implementadas na cidade. O segundo setor é formado por empresas de manufatura e serviços que irão desenvolver papéis específicos de acordo as estratégias de economia circular na qual podem se inserir. O terceiro setor é formado pela comunidade engajada e por negócios sociais que assumem papéis e funções de acordo com seus projetos/programas. Ressalta-se aqui, a afirmação de DJIAN (2004) que considera que a comunidade, enquanto consumidora, tem um papel fundamental para que ocorra a circularidade em um nível de integração empresas-consumidores.

A OCDE (1997) criou uma estrutura que contém os requisitos básicos para o desenvolvimento e difusão de tecnologias baseado nos seguintes requisitos: condições estruturais, base em ciência e tecnologia, fatores de transferência e dínamo da inovação. A transição para cidade circular também exige um processo de desenvolvimento e difusão, não somente de tecnologias, mas também de transferência de conhecimento e replicação de programas/projetos bem sucedidos quanto à implementação de estratégias de economia circular, de tal forma que quanto mais programas/projetos forem desenvolvidos e replicados e quanto mais *clusters* de circularidade e redes de cidades se instalarem em uma área urbana, maior será o seu nível de transição para cidade circular. Por essa, razão, baseado no modelo de OCDE (1997) para desenvolvimento e difusão de tecnologias, foi feita uma estrutura que agrupou os requisitos que envolvem a transição para cidade circular, conforme é mostrado na figura 22.

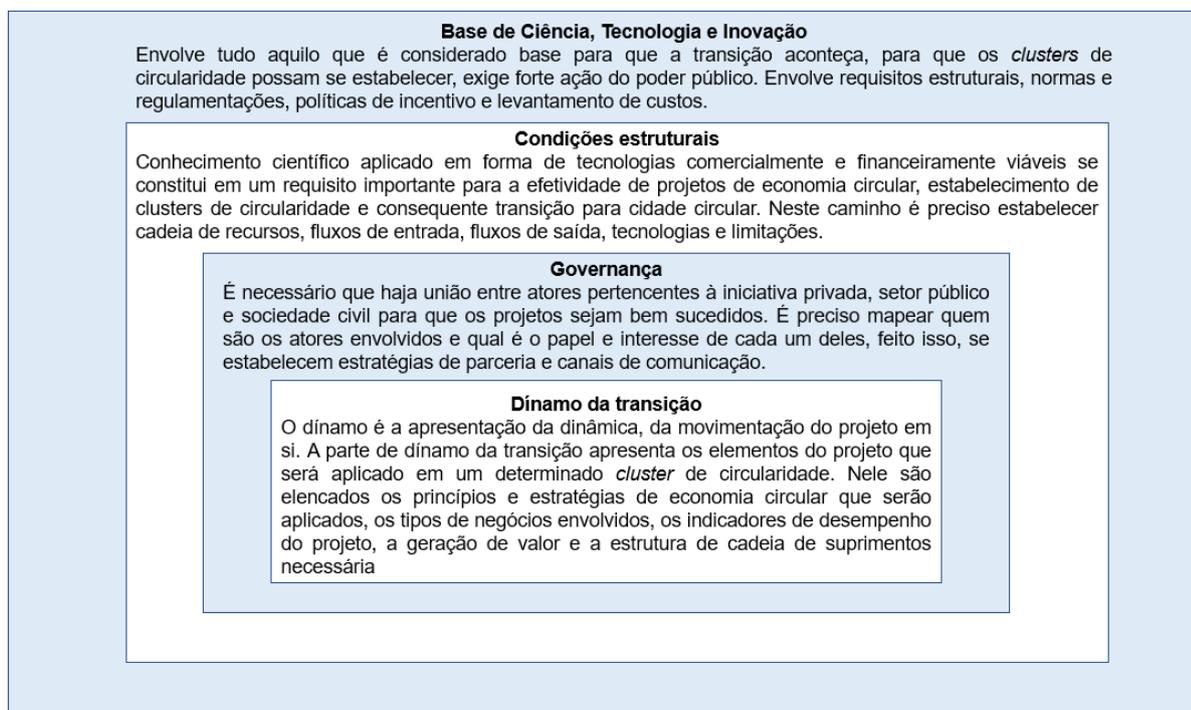


Figura 22: Estrutura de requisitos à transição para cidade circular.

Fonte: Elaboração própria (Com base em OCDE (1997), na revisão de literatura feita na tese e nas respostas dos questionários).

Na sequência, verificou-se que os requisitos e desafios para a economia circular que foram identificados na revisão de literatura realizada no capítulo dois desta tese e confirmados por meio dos questionários aplicados podiam ser organizados em um *canva*, tal qual é mostrado na figura 19. *Canva* é um quadro que contém o resumo de um projeto (*Canva Pitch*) ou modelo de negócio (*Canva Business Model*). A metodologia de *canva* foi desenvolvida por OSTERWALDER e PIGNEUR (2010). Baseado neles, foi criado, nesta tese, um *canva*

específico para elencar os quatro conjuntos de requisitos para o desenvolvimento de programas/projetos que promovam a transição para cidade circular (figura 23).

BASE DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO	CONDIÇÕES ESTRUTURAIS	GOVERNANÇA	DÍNAMO DE TRANSIÇÃO	
Recurso(s)	Requisitos estruturais	Atores	Princípios de EC	Retenção de Valor
Fluxos de entrada	Normas e regulamentações	Formas de Parcerias	Estratégias de EC	Indicadores
Fluxos de saída			Setor(es)	
Tecnologias	Incentivos	Papeis	Tipos de Negócios Circulares	Ganhos
Limitações		Custos	Interesses	

Figura 23: Canva de estruturação de requisitos de projetos/programas de transição para cidade circular
Fonte: Elaboração própria

Esta estrutura de requisitos é aplicada na sequência deste capítulo para demonstrar como a transição para cidade circular está sendo feita na cidade de Amsterdam e também será usada no capítulo seis.

6.2 AMSTERDAM CIRCULAR: ESTRATÉGIAS E ESTRUTURA DA TRANSIÇÃO

Neste item, é identificada, com base em revisão de literatura, a estrutura de transição da cidade linear para circular realizada em Amsterdam, capital da Holanda, país integrante da União Europeia. Essa cidade foi escolhida por ser pioneira, na União Europeia, na busca dessa transição. Para melhor situar o exemplo de transição realizado na cidade de Amsterdam, é feita antes uma breve contextualização das principais políticas e indicadores de economia circular na União Europeia.

Os vinte e sete países da União Europeia totalizavam uma população média de aproximadamente 447.706.209 pessoas em 2020. Juntos, eles geraram um produto interno bruto (*Gross Domestic Product* -GDP) de 14.775.093,3 (em milhões de euros) em 2021. Em 2020, os países da União Europeia reciclaram em média 47,8% dos resíduos urbanos; a Holanda reciclou 56,9% desses resíduos. A taxa de circularidade é o indicador que mede a parcela do material recuperado e realimentado na economia - diminuindo, assim, a extração de matérias-

primas primárias. Em 2020, os países da união europeia tiveram um média de 12,8% de taxa de circularidade, a Holanda teve uma taxa de 30,9% (EUROSTAT, 2022).

As três primeiras colunas do quadro 17 foram elaboradas pelo CIRCLE ECONOMY AND THE CITY OF AMSTERDAM (2020) para demonstrar a estrutura necessária à transição para economia circular. A quarta coluna do quadro foi acrescentada, por meio do trabalho desenvolvido nesta tese, para apresentar exemplos de instrumentos existentes ou em estágio de proposição na União Europeia que contribuem para a transição para cidade circular.

Instrumentos regulatórios e legislativos	Regulamentações	Estabelecimento de estratégias e objetivos, planejamento do espaço urbano, avaliação e autorizações ambientais, e monitoramento e fiscalização.	<ul style="list-style-type: none"> - Diretiva quadro de resíduos 2008/98 EC: estabelece hierarquia de resíduos que deve ser aplicada na legislação e política de prevenção e gestão de resíduos: prevenção de geração de resíduos, preparação para reutilização; reciclagem, recuperação, por exemplo recuperação de energia; e disposição - Regulamentação (EC) n°. 1013/2006: estabelece procedimentos para transporte de resíduos e tratamento no destino, devendo, ser obedecida tanto para trânsito entre países da EU quanto por terceiros. - Plano de ação para a economia circular (CEAP 2020): estabelece objetivos a serem cumpridos para projetos de produtos sustentáveis; circularidade nos processos produtivos; setores de produtos eletrônicos, veículos, embalagens, têxteis, baterias, construção, água e alimentos. Apresenta as legislações e regulamentações já existentes e o plano de ação com legislações a serem promulgadas e demais medidas a serem tomadas entre os anos de 2020 e 2023. - Pacto Ecológico Europeu: plano de ação para impulsionar a utilização eficiente dos recursos através da transição para uma economia limpa e circular e restaurar a biodiversidade e reduzir a poluição como o objetivo de que até 2050 a Europa tenha impacto neutro no clima. Apresenta um conjunto de ações a serem tomadas em legislação e políticas públicas.
	Legislações para especificações técnicas e de qualidade	estabelecimento de padronizações técnicas e de indicadores de performance para os recursos e produtos que irão ser ciclados, desenvolvimento de rótulos e certificação, disposições proibitivas envolvendo elementos como produtos e materiais que não podem ser ciclados e técnicas que não podem ser empregadas, e	<ul style="list-style-type: none"> - Certificado de produtos feitos em Amsterdã, comunidade de mais de 150 empresas manufatureiras sediadas na Área Metropolitana de Amsterdã que buscam se apoiar mutuamente na transição e têm selo de certificação e busca reduzir o uso de matérias-primas, fazendo a transição para uma indústria 100% circular. - Há diversas padronizações, umas das mais relevantes é a M / 543, que requer padronização de produtos para prolongamento da vida útil; capacidade de reutilizar componentes ou reciclar materiais no final da vida útil; uso de componentes

		fortalecimento da responsabilidade do produtor, por exemplo.	reutilizados e/ou materiais reciclados; implementação de parâmetros e métodos para avaliar a durabilidade, capacidade de atualizar, reparar, reutilizar e refazer os produtos; avaliação de durabilidade, capacidade de acessar ou remover componentes para facilitar o reparo e a extração no final da vida, o tratamento e a reciclagem, remanufatura ou reutilização; critérios de reutilização/reciclabilidade/recuperabilidade; e evolução de métodos e técnicas de reciclagem ao longo do tempo.
Instrumentos econômicos	Estrutura fiscal	Incentivos fiscais positivos para empresas, produtos, materiais e consumidores integrarem as práticas de economia circular; e incentivos negativos para produtos e serviços fruto de economia linear que poderiam, mas que não incorporam estratégias de economia circular.	- Entre 2014 e 2019, o Banco de Investimento Europeu junco com outros bancos disponibilizou 2,5 mil milhões de euros para co-financiar projetos de economia circular, havendo objetivo de investir pelo menos 10 bilhões de euros na economia circular até 2023.
	Suporte financeiro direto	Incentivo à obtenção e aplicação de recursos para desenvolvimento e manutenção de estrutura para a economia circular por meio de estratégias tais como parcerias público-privada, oferta de infraestrutura, subsídios, linhas especiais de empréstimos e financiamento para aquisição de produtos circulares ou abertura de negócios circulares, e negociações especiais de dívidas.	
	Estrutura econômica	Licenças negociáveis Parcerias público-privado	
Demais ações de apoio e incentivo (<i>soft instruments</i>)	Conhecimento e informação	Atividades de pesquisa, campanhas educativas e informativas, programas educacionais, programas de capacitação profissional.	- EUROSTAT: apresenta dados sobre os indicadores de economia circular, sustentabilidade urbana e gestão de resíduos, entre outros.
	Estrutura e plataformas colaborativas	Criação de plataformas para apresentação e troca de dados e informações, criação de espaços físicos e virtuais para desenvolvimento de ações para a economia circular (como troca e conserto de produtos, por exemplo), incentivo à discussão	- Programa de cidades circulares: mantido pela <i>Circle Economy</i> , entidade não-governamental que desenvolve projetos em diversos setores que contribuem para a transição para cidade circular. - Iniciativa de cidades e regiões circulares: mantida pela Comissão Europeia, se constituem em iniciativa de apoio à implementação de soluções de economia circular local e regional, oferecendo

		sobre projetos e programas de economia circular no âmbito local	informações e financiamento para projetos/programas.
	Governança	Projetos institucionais para economia circular, parcerias público-privado, incentivo ao voluntariado, criação de espaços e mecanismos de promoção à discussão, ações de <i>lobby</i> para criação de legislação para economia circular e programas públicos de incentivo.	- Declaração de cidades circulares europeias: iniciativa de entidade não-governamental (Governos Locais para a Sustentabilidade - ICLEI) que objetiva formar rede de relacionamento colaborativo entre cidades que estão realizando a transição. - Rede Europeia Circular: mantida Associação de cidades e regiões para a gestão sustentável de recursos (ACR+) compartilha práticas de economia circular em cidades e regiões.

Quadro 17: Ação do poder público para a transição para cidade circular.

Fonte: CIRCLE ECONOMY AND THE CITY OF AMSTERDAM (2020, p. 32), com adaptações relacionadas à quarta coluna; EUROPEAN COMMISSION, 2021; CIRCULAR CITY FUNDING GUIDE (2021);

Verifica-se, assim, que há todo um trabalho no sentido de transição para economia circular sendo realizado no âmbito da União Europeia, e Amsterdam é a cidade mais avançada, dentro deste contexto, na transição para cidade circular. A cidade possuía uma população de 1.149.000 pessoas em 2020 e salário médio anual líquido de 24.248,43 euros em 2021 (MACROTRENDS, 2021; EUROSTAT, 2022).

A cidade implementou o plano “*The Circular Metropolis Amsterdam 2014–2018*”; e, em 2017, o município criou dois programas: “Amsterdam Circular, aprender fazendo” e o “Programa complementar de Inovação Circular”. A cidade está em sua rota de transição e apresenta resultados tais como o de que, em 2019, mais da metade dos moradores de Amsterdam compram um produto de segunda mão, e sete a cada dez moradores consertaram um produto. A cidade implementa diversos tipos de estratégias na sua transição, tais como o passaporte de materiais para edifícios, que captura informações sobre materiais e processos utilizados e as possibilidades de reutilização de materiais. A cidade planeja finalizar o seu processo de transição até 2050, tornando-se uma cidade com desperdício zero e com valor contínuo alto de reciclagem (CIRCLE ECONOMY, 2016; GLADECK et al, 2017; CIRCLE ECONOMY AND THE CITY OF AMSTERDAM, 2020).

Há bairros da cidade onde a prefeitura faz a coleta, neste caso, se os resíduos forem colocados do lado de fora no dia ou na hora errada, há multa. Mas, na maioria dos bairros, o lixo doméstico deve ser separado por tipo e colocado nos recipientes corretos: vidro, papel, embalagens de plástico e caixas de bebidas, têxteis e "resíduos residuais" (outros). Qualquer resíduo restante que não seja adequado para esses recipientes é considerado "resíduo volumoso". Há regras diferentes para resíduos volumosos e para resíduos comerciais (CITY OF AMSTERDAM, 2021).

Trabalho realizado por FRATINI et al (2019) analisou as estratégias de transição para cidade circular implementadas pelas cidades de Amsterdã, Londres e Paris com o objetivo de compreender como a literatura acerca de economia circular aborda a transição para sustentabilidade em cidades europeias e como isso é objeto de governança, de tal forma que essa transição seja uma oportunidade para a inclusão social. Entre as sugestões apresentadas por esses autores para futuros trabalhos a respeito da transição de cidades para a economia circular estava o papel dos atores sociais nas relações que são estabelecidas dentro das redes de interação que se formam dentro das cadeias de circularidade, buscando-se entender também como estratégias de economia circular podem ser aplicadas em diferentes realidades urbanas e promover melhorias sociais para todos os envolvidos.

A compilação das informações levantadas a respeito da transição para cidade circular na cidade de Amsterdam segue organizada em quatro quadros de acordo com a estrutura de agrupamento dos requisitos de transição para cidade circular que foi apresentada anteriormente neste capítulo (figuras 19 e 20). O quadro 18 mostra a base de ciência, tecnologia e inovação, nele estão os setores envolvidos; os fluxos, que correspondem aos recursos que são ciclados de acordo com princípios da estrutura R da economia circular; os tipos de tecnologias utilizadas; e as limitações, que são desafios encontrados ou resultados e práticas que ainda não podem ser aplicados.

Recursos	Fluxos de Entrada e de Saída	Tecnologias	Limitações
Orgânicos, produtos industriais, material de demolição, plástico, vidro, entre outros.	Materiais e energia.	Tecnologias de alto e de baixo custo.	Financeiras, em termos de escala comercial e de acesso à tecnologia.

Quadro 18: Base de ciência, tecnologia e inovação em cidades que estão fazendo a transição.

Fonte: Elaboração própria com base em informações obtidas em CIRCLE ECONOMY, 2016; CIRCLE ECONOMY AND THE CITY OF AMSTERDAM, 2020.

O quadro 19 apresenta as condições estruturais, reunindo, os requisitos as normas e regulamentações, os incentivos e custos que foram identificados na pesquisa a respeito da transição em cada das cidades em estudo. Depreende-se que as condições estruturais são motivadas e estabelecidas por atores pertencentes a entidades do poder público, tais como órgão de regulamentação, prefeituras e câmaras legislativas, entre outros. O que demonstra a importância do protagonismo do setor público no processo de transição para cidade circular.

Requisitos Estruturais	Normas e Regulamentações	Incentivos	Custos
- Legislação.	Vide instrumentos regulatórios e legislativos no quadro 17.	Instituição de zonas francas circulares, o que gera incentivos fiscais	Financiados em sua maioria por parcerias público-privado.

Estrutura de políticas públicas. - Educação. - Governança. - Tecnologia.		para negócios circulares e para empresas que adotam práticas de economia circular.	
---	--	--	--

Quadro 19: Condições estruturais da transição em Amsterdã.

Fonte: Elaboração própria com base nas informações obtidas em CIRCLE ECONOMY, 2016; CIRCLE ECONOMY AND THE CITY OF AMSTERDAM, 2020; EUROPEAN COMMISSION, 2021;

O quadro 20 apresenta a estrutura de governança da transição, ele mostra a síntese relacionada a atores, formas de parcerias, canais de comunicação, papéis e interesses dos atores envolvidos.

Atores	Formas de parcerias	Canais de comunicação e/ou fonte de dados	Papeis	Interesses
Entidades municipais, empresas, entidades de terceiro setor clientes/consumidores e instituições de ensino e pesquisa.	- Contratos. - Atendimentos a critérios de políticas de incentivo e regulamentação.	Eurostat.	- Financiadores. - Prestadores de serviços circulares. - Legisladores e regulamentadores.	- Necessidade de atendimento à legislação (quadro 21). - Atendimento a acordos internacionais. - Necessidade de atendimento a certificações. - Redução do risco de escassez de recursos. - Ganhos em receitas não-operacionais. - Geração de novos negócios. - Novas oportunidades de ganhos econômicos.

Quadro 20: Governança na transição de Amsterdã.

Fonte: Elaboração própria com base nas informações obtidas em CIRCLE ECONOMY, 2016; CIRCLE ECONOMY, 2018; CIRCLE ECONOMY AND THE CITY OF AMSTERDAM, 2020;

O quadro 21 apresenta a estrutura de dínamo da transição, ele mostra os elementos práticos na aplicação de programas/projetos de transição para cidade circular que foram identificados na cidade em estudo: princípios da estrutura R que são aplicados; atores sociais envolvidos; estratégias; tipos de negócios envolvidos, sendo eles circulares ou não; e tipos de indicadores de desempenho de resultados de programas/projetos.

Princípios de EC	Setores	Estratégias	Indicadores
Reuso Reciclagem Recusar	Construção, alimentos, bens de consumo,	- DFE de produtos e serviços. - Incentivo a produtos com maior vida útil, demonstráveis, padronizados e modulares	- Ambientais:

Repensar Reformar Reutilizar	indústria de transformação e de plástico.	<ul style="list-style-type: none"> - Separação de resíduos em residências e indústria. - Espaços e/ou negócios que promovem trocas e compartilhamento. - Reparo de produtos eletrônicos, têxteis e móveis com incentivo na criação de espaços físicos públicos para esta finalidade. - Utilização de espaços verdes para agricultura urbana. - Incentivo à inovação em modelos de negócios que reduzam resíduos e uso de recursos virgens - Logística reversa - Campanhas de conscientização para mudança comportamental. - Biorrefinarias como <i>hubs</i> de recebimento de resíduos. - Uso de produtos reciclados. - produção de proteínas para ração animal, biogás e blocos de construção para o setor químico, incluindo a produção de bioplásticos. 	<ul style="list-style-type: none"> Diminuição na emissão de gases de efeito estufa. - Sociais: Empregos gerados. Cerca de 11% dos empregos na cidade são circulares, sobretudo em tecnologia digital e preservação e extensão da vida útil de materiais. - Econômicos: Expectativa de 150 milhões de euros por ano. 	
Clusters e/ou Redes	Cadeia de suprimentos	Tipos de negócios	Ganhos	Retenção de valor
A organização é por setores dentro da cidade, onde cada setor envolve um conjunto de projetos/programas.	- Cadeia de suprimentos circular tendo como limite custos logísticos que sejam viáveis economicamente.	<ul style="list-style-type: none"> Biorrefinarias, empresas de desmontagem, reuso e reciclagem Empresas de Construção civil, empresas de reciclagem de resíduos 	<ul style="list-style-type: none"> - Novos negócios com novas formas de geração de renda e emprego. - Redução no descarte de resíduos. - Diminuição na extração de recursos virgens. 	- Há a discussão de que os resíduos que integram novos produtos, processos e serviços precisam ter qualidade padronizada e certificada.

Quadro 21: Dínamo da transição em Amsterdã.

Fonte: Elaboração própria com base nas informações obtidas em CIRCLE ECONOMY, 2016; CIRCLE ECONOMY, 2018; CIRCLE ECONOMY AND THE CITY OF AMSTERDAM, 2020;

6.3 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO

O exemplo da transição em Amsterdam para cidade circular demonstrou que os principais setores envolvidos na transição são alimentos, plástico, produtos manufaturados, serviços e construção civil. As estratégias principais envolvem reciclagem, certificação de produtos e materiais e prestação de serviços circulares, tais como os de conserto e reforma de produtos e de compartilhamento de bens e equipamentos, desde carro a ferramentas. No que tange à estrutura de governança necessária ao desenvolvimento de negócios circulares, o engajamento de empresas, clientes consumidores e instituições representativas do setor público é requisito fundamental. Essas últimas, são os principais agentes motivadores do engajamento dos demais; e o fazem por meio de políticas públicas que devem envolver legislação para padronização de qualidade de produtos e recursos utilizados em transacionados em negócios

circulares e incentivos à formação e continuidade de estratégias de transição para cidade circular.

A figura 24 mostra que, na transição para cidade circular, é empregado um conjunto de estratégias que podem impactar positivamente o metabolismo urbano. A figura também mostra setores e requisitos necessários à transição.

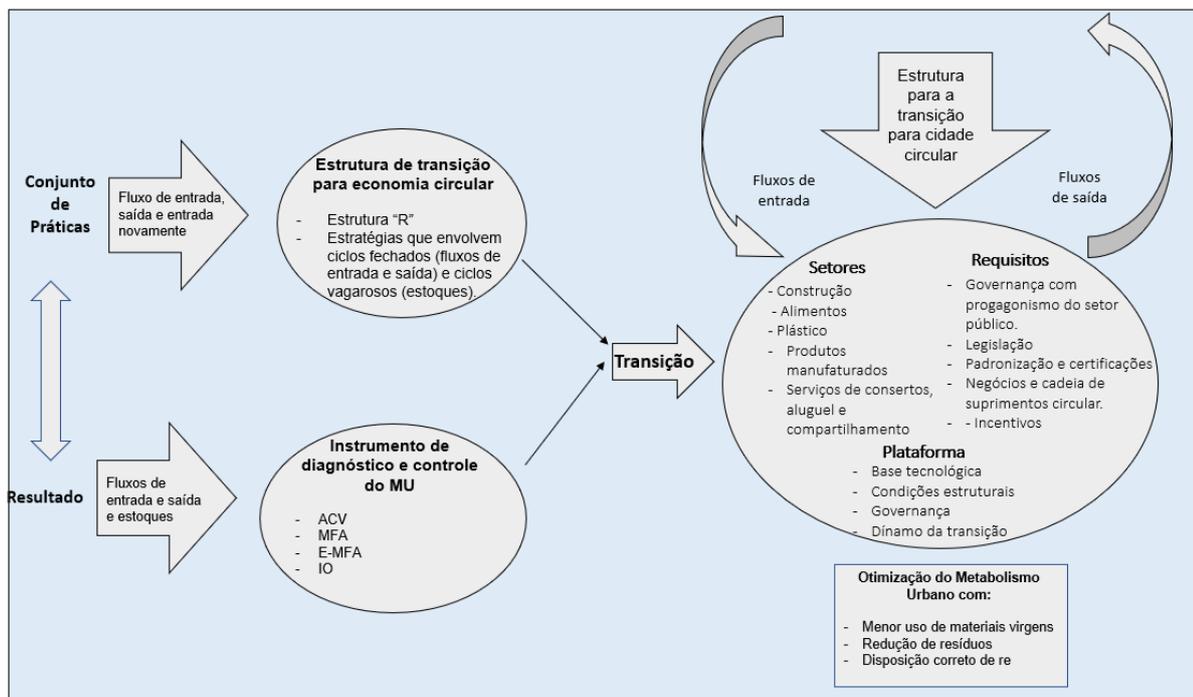


Figura 24: Transição para cidade circular e otimização do metabolismo urbano.
Fonte: Elaboração própria.

As ações para transição para cidades circulares envolvem projeto e produção de produtos circulares, desenvolvimento de novos modelos de negócios circulares e próximos de outros negócios e de clientes/consumidores para que se permita a cadeia de suprimentos. No caso de Amsterdam, verificou-se que as práticas de transição para economia circular se estruturam em *clusters* de circularidade (aspecto de proximidade geográfica) e que eles são formados por negócios que desenvolvem produtos e serviços circulares, dentro dos princípios da estrutura R.

O caminho de transição para a cidade circular, especialmente no que tange à ação do setor público, não é um caminho fácil, mas é um caminho possível e, sobretudo, uma rota de desenvolvimento urbano e/ou local que contribui para sustentabilidade em todas as dimensões. No que tange à questão sobre quais são os requisitos à transição para cidade, verificou-se que esta estrutura envolve condições estruturais, base de ciência, tecnologia e inovação, governança e dínamo da inovação com foco em negócios circulares. No entanto, a estrutura de requisitos

apresentada neste capítulo deve poder viabilizar a transição para cidade circular tanto em cidades ou regiões que detenham os recursos para a estrutura R (formando-se clusters) quanto naquelas que não têm todos os recursos necessários.

7. TRANSIÇÃO PARA CIDADE CIRCULAR POR REDES DE CIDADES OU CLUSTERS DE CIRCULARIDADE? O EXEMPLO DA RECICLAGEM DE ALUMÍNIO NO BRASIL

A economia linear tem uma estrutura focada em extrair recursos finitos, consumi-los e depositar os resíduos no ambiente; esse ciclo “berço ao túmulo” está focado em três pressupostos: recursos naturais infinitos, capacidade de resiliência contínua e rápida dos ecossistemas naturais e crescimento econômico contínuo. Esses três pressupostos são falsos, visto que, por meio deles, tanto o processo produtivo quanto o esgotam os recursos naturais.

Paralelo à economia linear, tem-se a cidade linear, que é aquela onde, em uma analogia com a cadeia alimentar, há o problema de haver consumidores de recursos, mas não há produtores e decompositores em escala suficiente para atender às necessidades de consumo. A transição para cidade circular busca estratégias que diminuem a extração dos produtores por meio do incentivo aos decompositores (coletores e transformadores), que podem ser desde empresas e microempreendedores individuais que implementam estratégias de negócio circular a cidadãos que contribuem com a implementação de estratégias de economia circular.

Para isso, são necessários projetos/programas de transição para cidade circular que agreguem impactos ambientais, financeiros e sociais. Neste sentido, este capítulo busca atender ao objetivo específico de propor uma estrutura por meio da qual se possa elencar os requisitos básicos a serem atendidos em programas/projetos de transição para cidade circular. O capítulo apresenta o exemplo da reciclagem de alumínio no Brasil e contribui para a tese ao demonstrar que a transição para cidade circular é viável em qualquer tipo de cidade.

Isso é possível porque, dependendo da estrutura e dos recursos da cidade, a implementação de programas/projetos de transição para cidade circular pode ocorrer por meio de *cluster* de circularidade urbana ou por meio de redes de cidades que podem atuar em níveis diferentes da estrutura R da economia circular. Os termos “*cluster* de circularidade urbana” e “redes de cidade”, explicados no decorrer deste capítulo, são empregados nesta tese como resultado de todo o caminho de estudo desenvolvido até aqui para demonstrar dois tipos de estruturas diferentes que cidades podem empregar, concomitantemente, nos processos de transição para cidade circular. Este capítulo também demonstra que, tanto as redes quanto os *clusters* precisam atender à estrutura de requisitos que foi apresentada no capítulo cinco dessa

tese: base de ciência, tecnologia e inovação; condições estruturais; governança e dínamo da inovação.

7.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA GESTÃO DE RESÍDUOS NO BRASIL

Este item apresenta informações a respeito de cidades, geração de resíduos e economia circular no Brasil com o intuito de melhor compreender o contexto no qual o exemplo de reciclagem de alumínio está inserido. Ressalta-se que não há ainda no Brasil uma cidade que esteja fazendo a transição para cidade circular, mas há projetos que implementam estratégias de economia circular em diversas cidades do país.

De acordo com o censo demográfico de 2010, o Brasil tinha uma população de 190,7 milhões de pessoas, com 84,3% da população vivendo em áreas urbanas. Essas áreas ocupavam aproximadamente de 54.077 km², o que significava 0,63% do território brasileiro, que é de 8.515.767 km². Do total da população do país à época, 114.183.893 de pessoas viviam em áreas densas de concentração urbana ou unidade populacional, sendo considerada como tal a área urbana que tem mais de 300 hab./km². Entre 1960 e 2010, a população urbana no país cresceu em 402%, resultado do êxodo rural e do crescimento populacional (IBGE, 2017). Esse aumento populacional nas cidades se liga diretamente à necessidade de buscar soluções para a gestão de resíduos sólidos urbanos, principalmente diante de dados que mostram que há cada vez mais pessoas consumindo recursos e gerando resíduos no espaço físico limitado das cidades.

Em 2019, a massa de resíduos sólidos urbanos (RSU) coletados no país foi de 65,11 milhões de toneladas, com 0,99 kg/hab./dia, cerca de 361 kg/hab./ano. Desse quantitativo de RSU coletados, 24,9% tiveram disposição final inadequada em aterros controlados e em lixões, e a massa *per capita* recuperada de recicláveis secos foi de 7,5 kg/hab./ano (IPEA, 2018; BRASIL, 2020). A geração de RSU no país aumentou em 2020 como consequência direta da pandemia de COVID-19, passando para 82,5 milhões de toneladas, com média de 1,07 kg/hab./dia, isso ocorreu porque a medida sanitária de quarentena aumentou a geração de resíduos residenciais. Em 2020, os serviços de coleta de RSU recolheram 76.079.836 t/ano, o que significou 359,3 kg/hab/ano (ABRELPE, 2021).

A tabela 1 mostra o índice de cobertura dos serviços de coleta domiciliar (RDO) na população urbana no país.

Macrorregião	Pop. Urb. (IBGE) Brasil (hab.)	Taxa de cobertura (INO16) (%)	Pop. Urb. Atendida estimada (hab.)	Déficit de atendimento do serviço regular de coleta RDO		
				Pop. Urb. Não atendida estimada (hab.)	Percentual em relação à macrorregião (%)	Percentual em relação à pop. deficitária
Norte	13.606.102	97,46	13.260.507	345.595	2,54	14,8
Nordeste	41.971.407	97,65	40.985.079	986.328	2,35	42,3
Sudeste	82.276.710	99,23	81.643.179	633.531	0,77	27,2
Sul	25.642.276	99,25	25.449.962	192.317	0,75	8,3
Centro-Oeste	14.515.521	98,82	14.343.971	171.280	1,18	7,4
Total - 2019	178.001.749	98,77	175.682.698	2.329.051	1,31	100,0
Total - 2018	176.539.719	98,84	174.367.448	2.172.271	1,23	100,0
Total - 2017	175.588.503	98,67	173.257.947	1.330.556	1,33	100,0

Tabela 1: Estimativa do déficit do serviço de coleta de RDO em relação à população urbana em 2019.

Fonte: BRASIL (2020, p. 58).

A disposição inadequada de resíduos gera impactos negativos nas dimensões ambiental, social e econômica. Em relação à dimensão ambiental, há a contaminação de solo, lençóis de água, vegetação e animais, entre outros fatores. Verifica-se que o maior problema na gestão de resíduos do país não está na coleta, mas sim em disposição e processamento inadequados (tabela 2), com grande número de lixões, que resulta em resíduos descartados de maneira inadequada no ambiente.

Tipo de unidade de processamento	Quantidade de unidades de processamento na amostra por macrorregião geográfica (UP003)					Total de unidades da amostra
	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro-Oeste	
Lixão	161	622	98	32	201	1.114
Aterro controlado	41	80	379	43	37	580
Aterro sanitário	11	49	327	195	39	621
Unidade de triagem (galpão ou usina)	38	97	543	392	93	1.163
Unidade de compostagem (pátio ou usina)	1	1	53	15	3	73
Unidade de transbordo (RDO + RPU)	1	9	87	66	13	176
Unidade de tratamento por incineração	0	6	7	3	1	17
Unidade de manejo de galhadas e podas	5	6	15	18	0	44
Vala específica de RSS (Resíduos de construção civil)	5	7	4	2	1	19
Unidade de tratamento por micro-ondas ou autoclave	1	3	10	5	0	19
Queima em forno de qualquer tipo	1	0	0	0	0	1
Área de transbordo e triagem de RCC e volumosos (ATT)	0	5	23	25	0	53
Área de reciclagem de RCC (Resíduos de construção civil)	0	2	27	6	1	36
Aterro de RCC (aterros inertes)	1	5	54	13	6	79
Outro	4	74	160	18	11	267
Total - 2019	270	966	1.787	833	406	4.262
	6,3%	22,7%	41,9%	19,5%	9,5%	100,0%

Total - 2018	248	894	1.645	772	356	3.915
	6,3%	22,8%	42,0%	19,7%	9,1%	100,0%
Total - 2017	235	893	1.710	757	357	3.952
	5,9%	22,6%	43,3%	19,2%	9,0%	100,0%

Tabela 2: Tipos de unidades de processamento em 2019.

Fonte: BRASIL (2020, p. 191).

No que tange à dimensão ambiental, a disposição inadequada de RSU gera impactos que podem ser mitigados por meio de estratégias da economia circular. Nesse sentido, há muitas iniciativas de coleta seletiva, mas que precisam se expandir, havendo, inclusive, grande diferença de uma região para outra do país (tabela 3).

Macrorregião	Quant. de mun. da amostra (com ou sem coleta seletiva)	Pop. Urb. Dos mun. da amostra (com ou sem coleta seletiva)	Mun. com col. Seletiva sob quaisquer modalidades (CS001=SIM)		Mun. com <u>coleta seletiva porta a porta</u> executada pela prefeitura ou empresa contratada ou por catadores com apoio da prefeitura (CS027 = SIM e/ou CS042=SIM)			
					Valor absoluto		Valor relativo	
			Quant. de mun.	(%)	Quant. de mun.	Pop. Urb. atendida (CS050)	Quant. de mun.	Pop. Urb. atendida (CS050)
Norte	239	10.726.269	29	12,1	17	1.087.218	7,1	10,1
Nordeste	859	30.195.833	96	11,2	66	4.809.070	7,7	15,9
Sudeste	1.304	76.653.084	633	48,5	531	34.330.357	40,7	44,8
Sul	996	23.764.868	593	59,5	556	18.258.991	55,8	76,8
Centro-Oeste	314	12.856.582	87	27,7	67	5.372.861	21,3	41,8
Total - 2019	3.712	154.196.636	1.438	38,7	1.237	63.858.497	33,3	41,4
Total - 2018	3.468	151.107.398	1.322	38,1	1.135	57.175.923	32,7	37,8
Total - 2017	3.556	147.279.158	1.256	35,3	1.069	53.911.085	30,1	36,6

Tabela 3: Abrangência do serviço de coleta seletiva porta a porta de RDO dos municípios em 2019.

Fonte: BRASIL (2020, p. 113)

Em 2019, o serviço regular de coleta domiciliar de resíduos sólidos atingiu 98,8% da população urbana no Brasil, enquanto a coleta seletiva na modalidade porta a porta chega a 41,4% da população urbana. Ainda assim, os resultados da coleta seletiva de RSU são insatisfatórios diante de números que mostram que de cada 10 kg de resíduos disponibilizados para a coleta, apenas 374 gramas são coletadas de forma seletiva (BRASIL, 2020). Isso mostra a necessidade de estrutura de incentivo à coleta seletiva para que a população se engaje no processo e para que a indústria se responsabilize pelo fim de vida e pelos tipos de materiais e embalagens utilizados nos produtos.

As regiões Sul e Sudeste são as que mais praticam coleta seletiva e reciclam e recuperam resíduos, isso se deve ao fato de que é nestas regiões onde há maior estrutura instalada. Isso pode ser verificado por pesquisa realizada por MNCR (2021) em 641 organizações (figura 25).

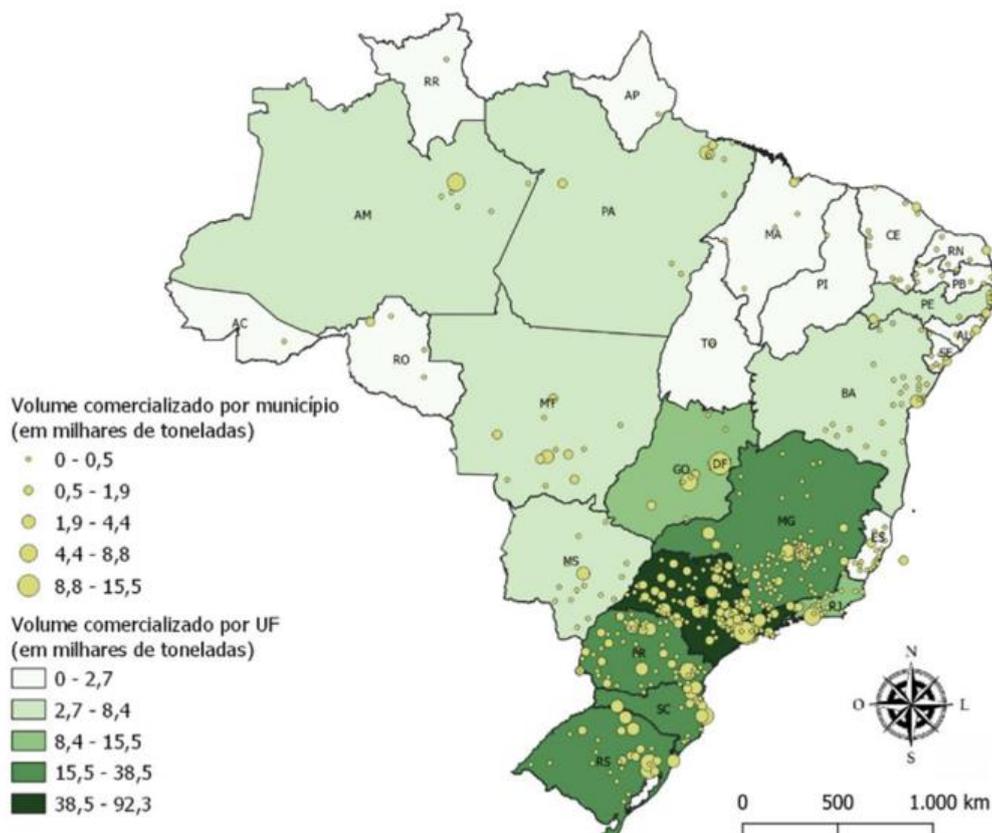


Figura 25: Quantidade de resíduos sólidos comercializados por organizações de catadores em 2020.
Fonte: MNCR (2021).

Em relação à dimensão econômica, a gestão de resíduos sólidos representa alto custo para os municípios, mesmo quando há procedimentos e disposição inadequados. Em 2019, as prefeituras do país tiveram um gasto de aproximadamente R\$ 24 bilhões com o manejo de RSU, uma média de R\$ 137,73 por habitante/ano. Em 2019, somente 44,8% dos municípios cobraram pelo serviço de coleta, e os valores arrecadados por aqueles que cobram pelo serviço contribuíram para apenas 57,2% dos custos incididos para a coleta (BRASIL, 2020).

Em relação à dimensão social, foram gerados 334.579 empregos no setor de limpeza urbana no país no ano de 2020. Além dos empregos formais gerados pela limpeza urbana, há também o trabalho de catadores que atuam de maneira autônoma ou em organizações, que podem ser empresas ou empreendimentos coletivos de reciclagem - cooperativas e associações (BRASIL, 2020; MNCR, 2021). No entanto, a gestão e disposição inadequada de resíduos tem efeitos sociais negativos, como a proliferação de doenças e a grande quantidade de pessoas que trabalham como catadores em condições de trabalho abaixo dos requisitos mínimos necessários de respeito aos direitos humanos.

Os catadores realizam o trabalho de coletar, separar, transportar, acondicionar e beneficiar resíduos sólidos para reutilização ou reciclagem (SILVA, 2016). O código brasileiro de ocupação (CBO) de catadores pode ser 9612 (Classificadores de resíduos), 9611 (Coletores de lixo e material reciclável e 9613 (Varredores e afins) (DAGNINO e JOHANSEN, 2017). Não há uma pesquisa atualizada e precisa que indique a quantidade de catadores no Brasil atualmente, isso se deve a questões metodológicas relacionadas aos tipos de CBO, à grande quantidade desses trabalhadores em situação informal, e à dificuldade de realização de pesquisas que abranjam a totalidade dos empreendimentos coletivos de reciclagem no país.

Em 2010, o Brasil tinha 398.348 catadores (DAGNINO e JOHANSEN, 2017). Segundo o Movimento Nacional dos Catadores de Materiais Recicláveis (MNCR), havia cerca de 800 mil catadores no Brasil em 2021, sendo que a maioria é do gênero feminino e é preta ou parda (MNCR, 2021). Em 2019, o país tinha 1.480 empreendimentos coletivos de reciclagem, distribuídas por 994 municípios participantes do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), com mais de 31,5 mil catadores vinculados a essas entidades (BRASIL, 2020).

Os catadores são pessoas em situação de vulnerabilidade socioeconômica, sobretudo em países em desenvolvimento como o Brasil. Esses trabalhadores realizam suas atividades, na maior parte dos casos, em condições insalubres e recebem baixa remuneração. Poucos deles trabalham em regime de consolidação das leis do trabalho (CLT), o que também dificulta o acesso a benefícios sociais obrigatórios. A figura 26 apresenta os valores do preço médio (em R\$/Kg) dos materiais recicláveis em 2020.

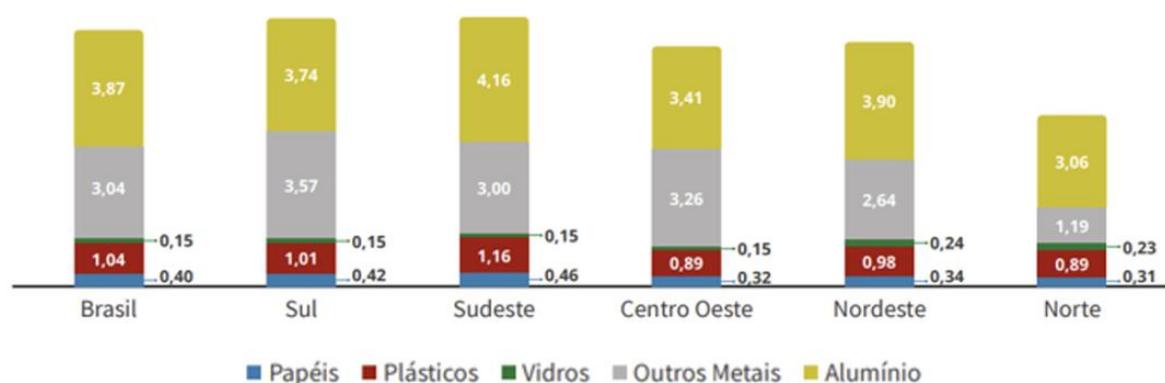


Figura 26: Média dos processos dos resíduos sólidos comercializados pelas organizações de catadores em 2020. Fonte: MNCR (2021).

Verifica-se que o material com maior valor é o alumínio. No entanto, ele não é o mais comercializado. Com base em pesquisa feita em 641 organização de reciclagem no ano de 2020,

MNCR (2021) chegou aos dados de que 52% dos resíduos comercializados foram papéis, 22% plástico, 17% vidros, 8 % metais e 1% alumínio. A figura 27 apresenta a renda média de catadores membros de 290 organizações em 2020.

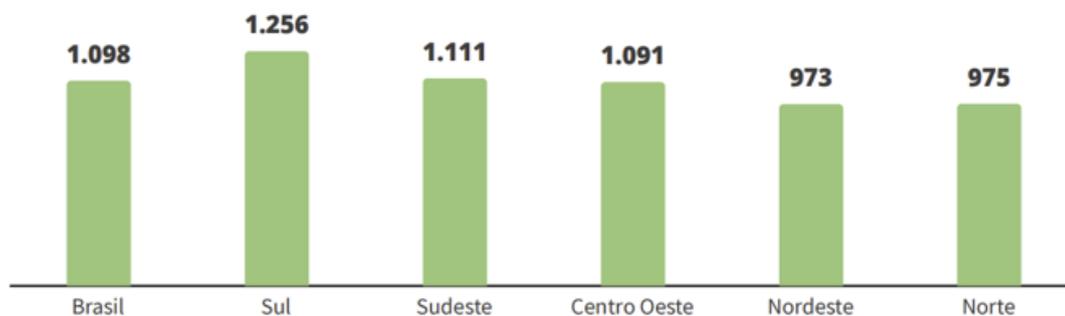


Figura 27: Renda média mensal de catadores em 2020.
Fonte: MNCR (2021).

A implementação de estratégias de economia circular em cidades brasileiras, deve ocorrer por meio de estratégias que possam mitigar impactos sociais, ambientais e econômicos, não somente relacionados à gestão de resíduos sólidos, sobretudo nas cidades. Isso requer atendimento a todos os requisitos relacionados à base de ciência, à tecnologia e inovação; a condições estruturais; à governança e ao dínamo da inovação.

A legislação é um elemento importante em relação às condições estruturais. A Lei nº 10.257/2001, conhecida como Estatuto das Cidades, dispõe diretrizes gerais da política urbana no país que se relacionam diretamente à implementação de estratégias de economia circular nas cidades: garantia do direito a cidades sustentáveis, ao saneamento ambiental e à infraestrutura urbana para as gerações presentes e futuras; direito ao planejamento do desenvolvimento das cidades de modo a evitar e corrigir as distorções do crescimento urbano e seus efeitos negativos sobre o meio ambiente; ordenação e controle do uso do solo, de forma a evitar poluição e degradação ambiental; e proteção, preservação e recuperação do meio ambiente natural e construído (BRASIL, 2001).

A Lei nº 9.605/1998, conhecida como Plano Nacional de Resíduos Sólidos, dispõe sobre princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos no país, considerando que poder público por meio de gestão integrada das três esferas de governo e em responsabilidade compartilhada com fabricantes, importadores, distribuidores ou comerciantes têm responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto; sendo que esses devem se organizar mediante acordos setoriais. Devendo haver coleta seletiva e interação com a sociedade. A Política Nacional de Resíduos Sólidos

(PNRS) estabeleceu a necessidade de implementar de sistemas de compostagem para resíduos sólidos orgânicos no Brasil por meio da articulação entre atores sociais que pudessem contribuir para a promoção de benefícios econômicos e sociais (BRASIL, 2010).

O quadro 22 mostra exemplos de iniciativas de economia circular em cidades brasileiras.

Cidade	Princípio	Estratégia	Atores sociais	Tipo de indicador
Florianópolis SC	Reutilizar	Reutilização de água da chuva com calhas em escolas públicas, contribui para diminuir o volume de águas pluviais. É financiado pelo poder público.	Prefeitura de Santa Catarina	Ambiental
Petrópolis RJ	Reciclar	Biosistema de água que transforma esgoto doméstico em água de boa qualidade e os rejeitos são ciclados para se transformar em adubo e em biogás. É financiado por entidades de terceiro e da União Europeia	Entidades de terceiro setor e da União Europeia	Ambiental
Santa Helena PR	Reciclar	A prefeitura disponibiliza sacos plásticos apropriados e distribui contêineres pelos bairros. Foi feito um trabalho de mídia para conseguir o apoio da população. Os catadores da cooperativa local passam de porta-em-porta por todos os bairros do município para coletar os resíduos recicláveis. É financiado por entidades públicas e de terceiro setor	Entidades públicas e de terceiro setor	Ambiental Econômico Social
São Paulo SP	Reciclar Recuperar Reutilizar Reduzir Recusar Repensar	Projetos de alimentação circular com foco na agricultura familiar. Trabalho por meio de cinco grupos temáticos envolvendo os três setores: a) <i>cluster</i> de grandes geradores com empresas/varejistas que compartilham custos logísticos para o destinação e valorização de coprodutos, com foco em compostagem e <i>upcycling</i> ; b) plataforma digital conectando grandes geradores com transporte, compostagem e centros de tratamento para que todo o processo de geração, destinação e valorização de coprodutos orgânicos tenha rastreabilidade, monitoramento e precisão; c) centro de recuperação de coproduto com tratamento e recuperação e tecnologias mistas para a produção de composto, energia, biogás e biofertilizantes; d) sistema de coleta de restaurantes e bares para destino e recuperação; e e) restaurantes circulares e <i>chefs</i> que compram ingredientes de produtores locais e com métodos agrícolas regenerativos, preparando menus sazonais com biodiversidade local, aproveitamento integral, combate ao desperdício e compostagem (OCDE, 2020).	Entidades públicas e privadas	Ambiental Econômico Social
Brasília DF	Reciclar	Lei Distrital 5.610/2016 dispõe que estabelecimentos não-residenciais que produzem mais de 120 litros por dia de lixo não reciclável no Distrito Federal são responsáveis pela destinação final dos resíduos que produzem. Com isso, 15 casas tradicionais de Brasília se uniram para que seus resíduos fossem separados na origem e levados para Pontos de Entrega Voluntária (PEV) instalados do lado de fora dos restaurantes associados a coleta de vidro, metal, papel e plástico que, quando atingiam a capacidade máxima, cooperativas recicladoras eram acionadas e faziam a coleta. Reduziram de 700 litros iniciais, para 75 litros	Entidades privadas e terceiro setor	Ambiental Econômico Social

		de resíduos não destinados à reciclagem, passando para a categoria de pequeno gerador. O preço médio para a coleta de resíduo como grande gerador é de 250 reais para uma tonelada (DISTRITO FEDERAL, 2016; INSTITUTO ECOZINHA, 2018).		
--	--	--	--	--

Quadro 22: Economia circular em cidades no Brasil.

Fonte: Elaboração própria.

Além de projetos como os demonstrados no quadro 22, há também programas que incentivam a transição para a economia circular em cidades brasileiras, como o Programa Cidades Sustentáveis (PCS). O PCS é uma agenda de sustentabilidade urbana criada em 2012 no Brasil com o objetivo sensibilizar e mobilizar governos locais para a implementação de políticas públicas estruturantes, que contribuíssem para o enfrentamento da desigualdade social e compartilhamento de informação, ferramentas e metodologias para planejamento de cidades mais justas e sustentáveis. O programa é estruturado em doze eixos temáticos, 260 indicadores relacionados à diversas áreas da administração pública, um painel de monitoramento para o plano de metas do programa e um *software* que permite a comparação de dados e informações entre as cidades por meio de um banco de boas práticas com casos exemplares de políticas públicas no Brasil e no mundo, um programa de formação e capacitação para gestores públicos municipais, documentos de orientação técnica e conteúdos informativos para o público geral. Atualmente, sessenta e sete municípios são signatários do PCS, o que abrange desde pequenos povoados com pouco mais de dois mil habitantes a metrópoles com milhões de habitantes (PCS, 2021). Nos PCS, há diversos projetos de economia circular passíveis de serem aplicados na realidade de cidades brasileiras.

Estudo elaborado com base no Índice de Desenvolvimento Sustentável das Cidades – Brasil (IDSC-BR) mostrou que as vinte e seis capitais estaduais do país têm grandes desafios a superar para atingir os ODS até o ano de 2030. No ranking geral do IDSC-BR, que computou e analisou os dados de 770 municípios de todo o país, Curitiba está situada na 30ª posição, São Paulo na 48ª e Florianópolis na 56ª colocada. Assim, Curitiba, capital do estado do Paraná, registra a maior pontuação média considerando todos os objetivos a serem alcançados (66,03). Quanto mais próximo de 100, mais perto de alcançar as metas preconizadas nos ODS (GOES, 2021).

7.2 RECICLAGEM DE ALUMÍNIO NO BRASIL

Conforme demonstrado no item anterior deste capítulo, os resíduos mais coletados no Brasil são o papel e o plástico, respectivamente. Mas o alumínio é o resíduo com maior valor

agregado e maior taxa de reciclagem no país. Por essa razão, ele foi escolhido como exemplo nesta tese. Ele é matéria-prima de setores tais como transporte, construção civil, embalagens, bens de consumo e energia. O alumínio é produzido com bauxita, cujo processo de mineração gera impactos ambientais bastante negativos. No entanto, uma vez pronto, ele pode ser reciclado inúmeras vezes. Está ocorrendo um movimento de valorização de marcas de alumínio reciclado, com designação de ciclo de vida e com emprego de energia renovável no processo produtivo (ABAL, 2017; ABAL, 2020). A reciclagem de alumínio pode gerar resultados ambientais, sociais e econômicos positivos.

A produção de alumínio primário no mundo cresceu de cerca de 64 milhões de toneladas em 2019 (WORLD ALUMINIUM a, 2020). Cerca de 75% dos quase 1,5 bilhão de toneladas de alumínio já produzidos no mundo, ainda estão em uso produtivo hoje. A taxa de reciclagem global (RIR) de alumínio em 2018 foi de 32%. O RIR é um indicador da proporção de reciclado de sucata nova contida no metal produzido em uma determinada região. A taxa de eficiência de reciclagem global (RER) de alumínio é de 76% atualmente. O RER define a eficiência com que o alumínio é reciclado em toda a cadeia de valor, estimando a quantidade de alumínio reciclado produzida anualmente a partir de sucata, como uma porcentagem da quantidade total de fontes de sucata disponíveis (WORLD ALUMINIUM b, 2020).

Em 2019, o consumo de produtos transformados de alumínio no Brasil aumentou 8,2% em relação a 2018, com volume de 1.485,6 mil toneladas. O faturamento do setor teve crescimento de 5,3%, alcançando R\$ 83,6 bilhões. Em se tratando especificamente de latas de alumínio, os números mostram que mil latas de alumínio para bebidas foram abertas por segundo em 2020 no país, com uma comercialização de 32 bilhões de unidades, e crescimento de 7,3% sobre o ano anterior, com faturamento de R\$ 17,5 bilhões para o setor de latinhas. Em relação ao descarte e à reciclagem de alumínio no país, os números demonstram que o produto de alumínio mais reciclado é a lata utilizada como embalagem na indústria de bebidas. Em 2017, das 303.900 toneladas de latas de alumínio para bebidas colocadas à venda no mercado brasileiro, 295.800 toneladas foram recolhidas e recicladas, o que significa uma taxa de reciclagem de 97,3%. Isso faz com que o país seja referência mundial na reciclagem de latas de alumínio (REVISTA ALUMÍNIO, 2019; REVISTA ALUMÍNIO, 2020; ABAL, 2020; CNI, 2021).

A cadeia de suprimentos circular de uma lata de alumínio envolve: saída do ponto de venda, consumo, coleta seletiva, chegada a uma cooperativa/associação de catadores, envio à fábrica recicladora e envio a fabricas que darão novos usos ao alumínio reciclado. Esse novo

uso pode ser desde a aplicação como matéria-prima para a fabricação de um computador ou carro, a se tornar uma lata de alumínio que será envasada novamente. Os atores sociais envolvidos na cadeia de suprimentos circular de latas de alumínio são (CEMPRE, 2019):

- a) empresas fabricantes de bebidas com latas de alumínio, que deveriam investir em educação para a coleta seletiva e em capacitação de catadores e de cooperativas;
- b) consumidores de bebidas em lata de alumínio;
- c) catadores individuais, que são fornecedores de atacadistas de sucata ou integram associações/cooperativas de catadores;
- d) prefeituras, que devem instalar pontos de entrega voluntária de material reciclado (PEVs), realizar a coleta seletiva e incentivar o trabalho dos catadores e de cooperativas/associações de catadores;
- e) cooperativas/associações de catadores
- f) empresas sucateiras legalizadas, que são atacadistas que recebem das cooperativas, dos catadores individuais, e dos PEVs e enviam para a indústria recicladora;
- g) indústria recicladora, planta estruturada de acordo com a legislação que possui tecnologia para ciclar o resíduo e transformá-lo em material para integrar novos produtos; e
- h) indústria de bebidas, que envasa novos produtos nas latas recicladas.

O quadro 23 mostra a principais instituições envolvidas na cadeia de reciclagem de alumínio no Brasil.

Instituição	O que faz	Papel
Associação Brasileira do Alumínio (ABAL)	É formada por empresas que representam 100% dos produtores de alumínio primário, empresas transformadoras de alumínio, consumidoras de produtos de alumínio, fornecedores de insumos, prestadores de serviços, comerciantes e recicladores do metal.	Representante de classe que defende interesses da cadeia produtiva de alumínio, por meio da representatividade do setor junto ao governo e à comunidade ligada a essa indústria.
ALCOA	Mineradora de bauxita, refinadora e produtora de lingotes e de pó de alumínio.	Produtora de alumínio.
Associação Brasileira dos Fabricantes de Latas de Alumínio (ABRALATAS)	Associação civil sem fins lucrativos que busca estabelecer intercâmbio de experiências na cadeia de suprimentos de latas de alumínio.	Entidade representativa de classe.
Grupo Recicla BR	Administra empresas na cadeia de metais não ferrosos, entre elas: a) Latasa Reciclagem, maior empresa de reciclagem de alumínio do país, pioneira na implantação do sistema integrado de coleta e fundição de sucatas de latas de alumínio; e b) Garimpeiro Urbano, realiza coleta de sucatas não ferrosas nas principais capitais do país.	Produtora de alumínio.
NOVELIS	Possui o maior centro de laminação e reciclagem de alumínio da América Latina está em	Produtora de alumínio.

	Pindamonhangaba (SP). Pretende reciclar 450 mil t/ano em reciclagem. Recicla atualmente 17 bilhões de toneladas de latas de alumínio por ano, 70% do conteúdo reciclado no país.	
--	--	--

Quadro 23: Principais instituições da cadeia de reciclagem de alumínio no Brasil.

Fonte: (ABAL, 2020; RECICLA BR, 2020, REVISTA ALUMÍNIO, 2020; NOVELIS, 2020)

A média mundial de consumo de alumínio reciclado é de 25,6%; no Brasil, essa média é de 55,4% (REVISTA ALUMÍNIO, 2020). O alumínio foi escolhido para exemplo de *cluster* de circularidade para esta tese por meio da estrutura do grupo ReciclaBR. O Grupo surgiu em 2013 e é resultado da união de diversas empresas atuantes na reciclagem de metais não ferrosos. A empresa recicla mais de 300 mil toneladas de metais não ferrosos processados por ano e tem quatro plantas de reciclagem em São Paulo e em Minas Gerais. Essas plantas recebem materiais de 22 Centros de Coleta situados em estados do país atua nos demais estados do país por meio de uma rede de parceiros. O grupo administra empresas que atuam em toda a cadeia de metais não ferrosos. Entre elas, Latasa Reciclagem, que é a maior empresa de reciclagem de alumínio do Brasil e a pioneira na implantação do sistema integrado de coleta e fundição de sucatas de latas, e a Latasa Garimpeiro Urbano (RECICLABR, 2022). O grupo ReciclaBR foi acusado de fraude bilionária por sonegação fiscal (ISTO É, 2021)¹¹.

A figura 28 mostra a estrutura do grupo Recicla BR tinha até o ano de 2021 para a coleta e reciclagem de alumínio no Brasil.



Figura 28: Mapa da estrutura de reciclagem da ReciclaBR.

Fonte: Recicla BR, 2020 (com adaptações).

¹¹Investigação da Polícia Federal iniciada em 2018 juntamente com o Ministério Público Federal, Receita Federal, Procuradoria-Geral da Fazenda Nacional e Conselho Administrativo de Defesa Econômica (Cade) indicou que a empresa teria sonegado R\$ 4 bilhões em cinco anos no ramo da reciclagem e produção de alumínio (<https://istoe.com.br/investigado-por-fraude-bilionaria-recicla-br-montou-imperio-da-reciclagem-2/>).

Conforme pode ser visto na figura 29, a ReciclaBR possui quatro plantas localizadas no estado de São Paulo, nas cidades de Pindamonhangaba, Itaquaquecetuba; as outras duas plantas estavam localizadas no Estado de Mato Grosso do Sul, cidade de Paranaíba; e no estado de Minas Gerais, cidade de Betim. Assim, a princípio somente as cidades próximas às que têm as fábricas de fundição se caracterizariam como *clusters* de circularidade, por possuir a estrutura necessária para a reciclagem das latas de alumínio. No entanto, como o material a ser reciclado é valioso, o custo logístico do transporte dos centros de coleta espalhados pelo país até as plantas é compensado. Não fosse o valor do alumínio, somente as regiões dos *clusters* indicados no mapa poderiam ter ciclo fechado em relação a esse material, as demais cidades que recolhem as latas e enviam para as plantas têm um papel de ciclo semifechado, exportando resíduos as serem reciclados.

Mesmo com índices tão elevados e modelo de logística reversa bem estabelecidos, o setor de alumínio assumiu obrigações para tornar mais eficiente com a assinatura do “Termo de Compromisso da Lata”, junto ao Ministério do Meio Ambiente (MMA), em cumprimento à PNRS (CNI, 2021). O que mostra que a indústria da lata de alumínio já está em um caminho de comprometimento, o que falta à indústria de vidro e plástico. Diante do sucesso da ciclagem das latas de alumínio, surge a questão: “como buscar soluções para resíduos que não são tão valiosos quando o alumínio? Nesse caso, propõe-se que sejam organizadas estruturas de redes de cidades para que se possa desenvolver entre as cidades participantes da rede uma estrutura que viabilize o acesso à estrutura logística e à tecnologia necessária para a ciclagem.

A estruturação dessas redes deve ser responsabilidade de todos os agentes envolvidos na cadeia de suprimentos do material a ser reciclado e não apenas dos municípios, sobre o qual recai, atualmente, a maior parte dos custos relacionados à gestão de resíduos. Isso ocorre porque o PNRS tem abrangência federal, mas a geração e descarte de resíduos é uma questão que afeta diretamente os municípios.

O mérito de a reciclagem de alumínio ser caso de sucesso no Brasil não se deve a existência de condições estruturais. Pois, como foi visto na figura 29, a localização das plantas de reciclagem é distante da maioria dos centros de coleta; e a principal legislação do país no que tange à gestão de resíduos não deixa clara a responsabilidade de cada agente da cadeia de suprimentos. O alumínio “volta sozinho” somente pelo alto valor da sua sucata.

Por essa razão, o estudo do caso do alumínio no Brasil mostrou que a estrutura de requisitos para a transição para cidade circular apresentada nesta tese deve ser implementada com base em quatro tipos de requisitos principais (figura 29); e que, a depender do tipo de material e das condições estruturais de cada cidade ou região, a organização deve ser em *cluster* de circularidade ou em redes de cidades. Sendo que essa última configuração é a mais aplicável em se tratando dos princípios da estrutura R que se relacionam a ciclos fechados (recuperar e reciclar).

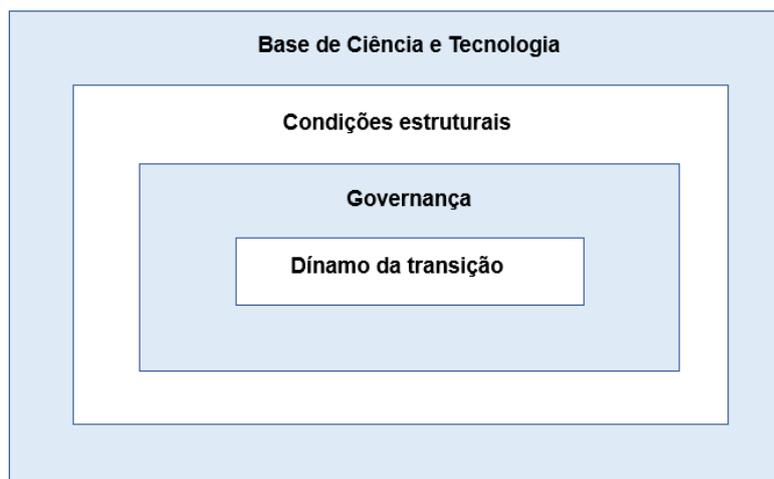


Figura 29: Estrutura de requisitos para transição para cidade circular.
Fonte: Elaboração própria com base em OCDE (1997) e na pesquisa realizada na tese.

No caso do alumínio, existe a base de ciência, tecnologia e inovação; mas as condições estruturais não favorecem devido às longas distâncias das plantas de reciclagem. Assim, o alumínio é um caso de sucesso somente devido ao ganho econômico. O alto valor desse metal faz com que a governança e o dínamo da inovação se estabeleçam.

Em situações como a do vidro e do plástico, por exemplo, a estrutura recomendada é a de redes de cidades, visto que o baixo valor desses resíduos no mercado não compensa os custos logísticos para locais distantes. Considera-se que as redes de cidades devem ser constituídas de tal forma que, em conjunto, cidades geograficamente próximas possam desenvolver projetos em conjunto, seja para dividir custos relacionados à coleta, transporte e/ beneficiamento dos resíduos, seja para ter, no conjunto, um quantitativo de resíduos que compensem os custos envolvidos nos processos citados anteriormente.

O estabelecimento dessas redes de cidades precisa do atendimento, em primeiro lugar, de condições estruturais com protagonismo dos municípios e regulamentação no que tange à responsabilidade compartilhada estabelecida no PNRS, que estabelece a corresponsabilização

de comerciantes e as empresas participantes da cadeia de produção que vai da matéria-prima ao produto final. Assim, deve ser estabelecida uma estrutura de atores sociais onde o setor público se responsabiliza por regulamentação e fiscalização, empresas pelo ciclo de vida do produto, e consumidores pelo descarte adequado do produto. Dentro de questões relacionadas à regulamentação, um importante aspecto é a tributação, deve haver incentivo à economia circular por meio de tributação. Destarte, as condições estruturais devem envolver um amplo conjunto de elementos que vão desde incentivos financeiros e fiscais, regulamentações, standardização de qualidade e certificações; a acordos de padronização tributária entre estados, por exemplo.

O exemplo do alumínio no Brasil ajudou a compreender que a estrutura de requisitos de transição para cidade circular pode se estabelecer tanto em formato de *clusters* de circularidade quanto em redes de cidades. Isso é aprofundado no próximo item deste capítulo.

7.3 TRANSIÇÃO PARA CIDADE CIRCULAR EM *CLUSTERS* DE CIRCULARIDADE OU EM REDES DE CIRCULARIDADE

Cluster é um espaço físico que possui, dentro dos seus limites geográficos, todo o conjunto de agentes necessários ao desenvolvimento de uma atividade ou processo orientado para um resultado. Ele agrupa fisicamente negócios similares ou complementares (LAUGENI, 2015). Nesta tese, o termo “*cluster* de circularidade” é utilizado para se referir a uma área urbana ou região formada por diversas áreas urbanas fisicamente próximas que detenham, juntas, todos os requisitos de transição para cidade circular (base de ciência, tecnologia e inovação, condições estruturais, governança e dínamo da inovação), promovendo estratégias de ciclos fechados e de ciclos vagarosos no que tange a produtos ou serviços.

O quadro 24 demonstra, na primeira coluna, as características de um *cluster*, segundo Laugeni (2015). A segunda coluna do quadro mostra a análise feita no âmbito desta tese para a definição do termo “*cluster* de circularidade”, no que tange à sua relação com a transição para cidade circular.

Característica de <i>Cluster</i> completo, conforme LAUGENI (2015).	Contribuições potenciais para a transição para cidade circular
Concentração geográfica	A maior parte dos negócios envolvidos em economia circular estarão acessíveis à cidade no que diz respeito à viabilidade dos custos logísticos, contribuindo para estratégias berço-ao-berço (ciclo fechado) ou o prolongamento da vida útil de um recurso ou produto (ciclo vagaroso). Requisitos estruturais de transição para cidade circular precisam ser satisfeitos no atendimento a esta característica.
Variedade de empresas e instituições	Aqui, esta “variedade” assume um valor qualitativo e não quantitativo. Ou seja, deve-se ter variedade suficiente de empresas e instituições que permita a

	implementação de estratégias e práticas de economia circular. Requisitos de dínamo da inovação de transição para cidade circular precisam ser satisfeitos no atendimento a esta característica.
Aproveitamento de subprodutos e reciclagens	Essa característica específica de <i>cluster</i> , contribui para o atendimento de várias estratégias da estrutura R da economia circular. Toda a estrutura de requisitos de transição para cidade circular precisa ser satisfeita no atendimento a esta característica.
Cooperação entre empresas e instituições	Os fluxos de materiais e informações entre os negócios de primeiro e segundo setor, e também entre os <i>clusters</i> é que permitirá a realização das práticas de economia circular. Ressalta-se aqui que um <i>cluster</i> pode interagir com redes de cidades. Requisitos de governança de transição para cidade circular precisam ser satisfeitos no atendimento a esta característica.
Intensa disputa	Esta característica deve ser satisfeita por meio do valor econômico que o <i>cluster</i> deve ter para os resíduos, esse é uma premissa importante para o funcionamento do <i>cluster</i> . Os resíduos devem ser disputados no sentido de terem valor econômico. Requisitos de dínamo da inovação de transição para cidade circular precisam ser satisfeitos no atendimento a esta característica.
Níveis de tecnologia	Todos as instituições que atuam dentro do <i>cluster</i> de circularidade devem dominar o modelo tecnológico necessário para o exercício do seu papel e função.
Alta especialização	Os negócios e projetos/programas precisam ter domínio tecnológico do trabalho que se propuserem a fazer, de tal forma que se tenha qualidade e produtividade. Requisitos de base de ciência, tecnologia e inovação de transição para cidade circular precisam ser satisfeitos no atendimento a esta característica.
Cultura adaptada	Deve-se ter uma estrutura de comunicação que informe e motive empresas e cidadãos para se adaptarem à cultura e aos valores relacionados à ótica da economia circular. Requisitos de condições estruturais, de governança e de dínamo da inovação de transição para cidade circular precisam ser satisfeitos no atendimento a esta característica.

Quadro 24: Relação entre cluster completo e economia circular.

Fonte: Elaboração própria tendo como base as características de *Cluster* apresentadas por LAUGENI (2015)

Um *cluster* circularidade pode envolver um ou mais setores, bem como um ou mais tipos de recursos. Ele pode ser formado para programas/projetos de uma cidade ou de um conjunto de cidades próximas que, no todo, reúna os requisitos de transição para cidade circular, podendo atender a estratégias que permeiam toda a estrutura R da economia circular. Nesse processo, a transição para cidades circulares pressupõe a instauração de negócios circulares, que funcionarão como nós de redes dentro dos *clusters*, de tal forma que custos logísticos não inviabilizem o processo. Esses negócios circulares devem interagir entre si e entre consumidores e fornecedores para que a cidade seja abastecida por produtos e serviços circulares.

A figura 30 ilustra um exemplo de *cluster* de circularidade no setor de alimentação, envolvendo recursos tais como alumínio, plástico, vidro e restos de alimentos.



Figura 30: Exemplificação de redes de cidades para o setor de alimentos.
Fonte: Elaboração própria.

No exemplo da figura, a rede de cidades para programas/projetos de transição para cidade circular na área de alimentação, teria diversos tipos de agentes distribuídos pela rede, gerando fluxos materiais, resíduos e negócios:

A – Conjunto de restaurantes que pode ser de uma mesma rede ou até mesmo concorrentes.

B – Uma ou mais instituições públicas, como prefeituras, que dão apoio ao funcionamento da rede.

C – Empresas parceiras que promovem fluxos de entrada e de saída com os restaurantes. Por exemplo, uma empresa que recebe óleo de fritura produzir detergentes, tendo tanto o papel de

transformadora quanto de abastecedora. Com função é a de troca de fluxos de materiais recicláveis.

D e G – Instituição de terceiro setor (cooperativas e associações) que recebem resíduos e os recicla, recupera, reutiliza e remanufatura. Ou também que coleta e envia para recicladores, como no caso do alumínio.

E – Empresas que se constituem em negócios circulares, atuando como transformadoras e/ou provedoras de serviços circulares. Por exemplo, empresa que recebe resíduos orgânicos e os transforma em energia.

F – Empresa parceira que promove fluxos de entrada e de saída com os restaurantes e que podem estar interligadas com diversas outras redes e *clusters*. Por exemplo, uma indústria de bebida ou de alimentos que fornece produtos em embalagens retornáveis. Tem papel de fornecedor produtos e receptor de resíduos para a ciclagem, realizando fluxos de materiais reutilizáveis.

H – Comunidade local, consumidores conscientes que praticam coleta seletiva.

No entanto, a principal restrição que norteou o estudo apresentado nesta tese foi o fato de que a ciclagem de um setor ou material tem diversos requisitos que extrapolam os limites da cidade ou região. Considerando que a proposta de *cluster* de circularidade exige a proximidade das áreas urbana envolvidas, a questão é: “o que propor para cidades e regiões que estão distantes de todos os requisitos necessários, principalmente os de estrutura tecnológica?”. Essa questão é especial principalmente para resíduos de menor valor como vidro, plástico e papel. Nessa situação, propõe-se que programas/projetos que contribuem para a transição para cidade circular sejam implementados por meio de redes de cidades.

As redes de cidades podem aplicar programas/projetos relacionados às seguintes estratégias da estrutura R da economia circular: remanufaturar, reaproveitar, reciclar e recuperar. Uma cidade pode participar de várias redes diferentes dependendo de cada material, serviço ou programa/projeto. As redes podem ser estabelecidas em duas situações específicas: a) as zonas urbanas são distantes, mas o valor do material compensa os custos logísticos, como foi demonstrado anteriormente no exemplo do alumínio em relação aos centros de coleta; e b) cidades próximas se organizam para que juntas possam reunir os requisitos necessários, como por exemplo, a realização de investimentos para aquisição de estrutura tecnológica a ser compartilhada.

A possibilidade de investir em redes de cidades para desenvolvimento de estrutura tecnológica é importante. A tabela 4 reforça essa necessidade, pois mostra a pouca capacidade financeira dos órgãos gestores do manejo de RSU em municípios participantes do SNIS.

Macrorregião	Quantidade de municípios	Autossuficiência financeira (IN005) (%)
Norte	44	25,9
Nordeste	67	34,0
Sudeste	631	64,7
Sul	837	66,1
Centro-Oeste	83	31,2
Total - 2019	1.662	57,2
Total - 2018	1.504	54,3
Total - 2017	1.195	54,6

Tabela 4: Autossuficiência financeira do órgão gestor com o manejo de RSU dos municípios em 2019. Fonte: BRASIL (2020, p. 177).

Outro fator que demonstra a importância das redes de cidades, é o alto valor da gestão de RSU que recai sobre os municípios. Conforme pode ser visto na tabela 5, que mostra o valor *per capita* gasto com o manejo de RSU em relação à população urbana dos municípios participantes do SNIS, segundo faixa populacional.

Faixa Populacional	Quantidade de municípios da amostra	Despesas per capita com manejo de RSU (IN006) (R\$/hab./ano)
1	2.850	111.93
2	581	102.94
2	167	111.79
4	97	137.82
5	15	141.22
6	2	235.51
Total - 2019	3.712	137.73
Total - 2018	3.468	130.47
Total - 2017	3.441	121.62

Tabela 5: Despesa *per capita* com manejo de RSU em relação à população urbana em 2019. Fonte: BRASIL (2020, p. 182).

A maioria dos órgãos gestores de limpeza urbana e manejo de RSU é pertencente à administração pública direta; havendo também autarquias, empresas públicas e sociedade de economia mista (BRASIL, 2020). A figura 31 mostra que já há redes entre municípios para a gestão de resíduos urbanos no Brasil. Essas redes realizam fluxos intermunicipais que exportam e importam RDO.

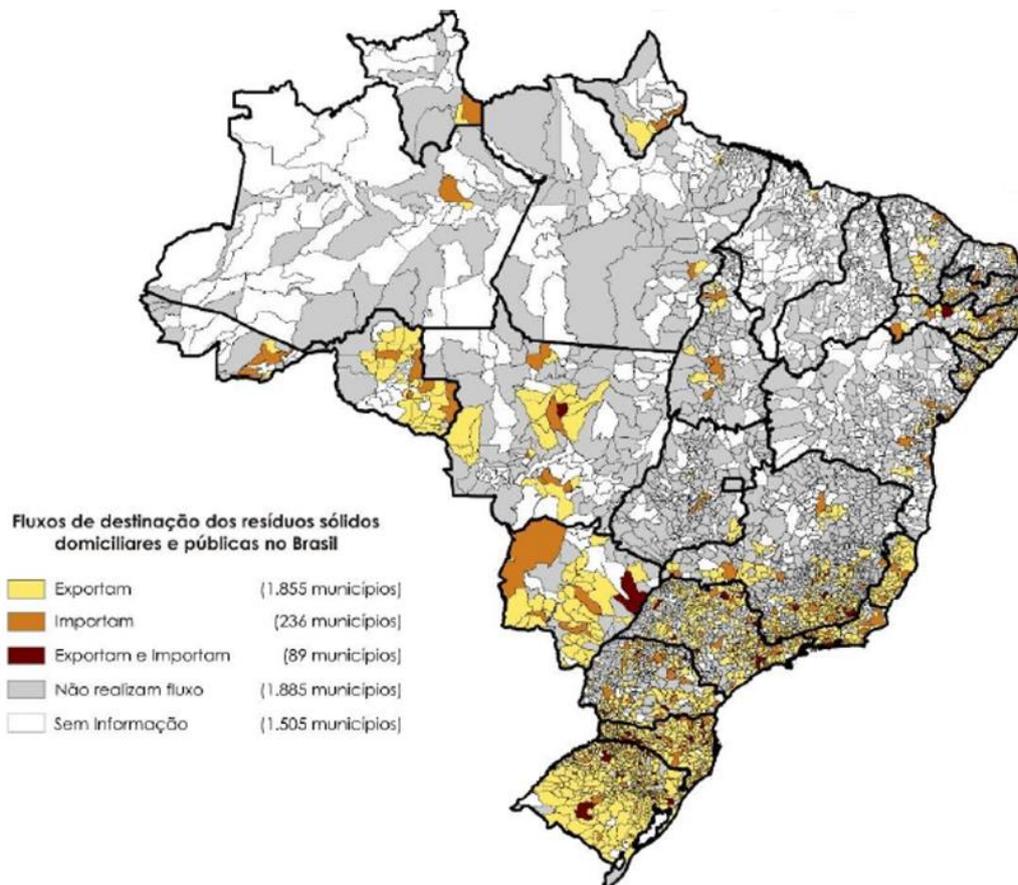


Figura 31: Representação espacial dos municípios que exportam, importam ou não realizam fluxo intermunicipal de RDO em 2019.

Fonte: BRASIL (2020, p. 201).

A diferença com as redes de cidades para implementação de estrutura para transição para cidade circular proposta nesta tese, é que os fluxos de importação e exportação promovidos buscariam implementar programas/projetos focados em estratégias direcionadas para os princípios de recuperação, reciclagem, reaproveitamento e remanufatura por meio do fomento à cadeia de suprimentos circular e negócios circulares.

Um tipo de recurso ou produto envolve mais de um setor e um setor envolve vários tipos de recursos. Há níveis de transição para a economia circular.

As redes de reciclagem envolvem a cooperação regional de empresas produtoras com vistas ao uso mútuo de resíduos. A função técnica e econômica de uma rede de reciclagem é a entrega planejada e o recebimento de resíduos da produção e do consumo dentro do sistema. [...]. Empresas de produção e redes de reciclagem não são instituições isoladas; elas estão inseridas em comunidades específicas. Assim, o desenvolvimento sustentável também se baseia no envolvimento e comportamento de todos os parceiros dentro de comunidades específicas. No contexto da sustentabilidade, estas são chamadas de comunidades sustentáveis e devem ser desenvolvidas como redes de reciclagem (STREBEL e POSCH, 2004, 352-353).

A tabela 6 mostra informações a respeito dos consórcios públicos intermunicipais formados para os serviços de manejo de RSU em municípios participantes do SNIS, segundo microrregião geográfica. É possível verificar que são poucos, diante do cenário de necessidade de melhoria no tratamento de RSU devido à alta quantidade de disposição inadequada, por exemplo, como foi mostrado anteriormente neste capítulo.

Macrorregião	Responder am Sim à existência de consórcios municipais	Declarados integrantes de consórcios, mas não responderam ao SNIS* (mun.)	Quant. total de mun. integrantes (lei + declarados) e equiv. em (%) do total de mun. IBGE	Pop. Urb. de mun. com lei autorizativa de consórcio (hab.)	Pop. Urb. de mun. declarados como integrantes sem lei autorizativa (hab.)	Pop. Urb. total de mun. integrantes (lei + declarados) (hab.)	Quant. de consórcios existentes equiv. em (%) do total da pop. Urb. IBGE
Norte	26	55	81	372.789	1.309.826	1.682.615	9
			18,0%				12,4%
Nordeste	166	557	723	2.547.213	9.242.341	11.789.554	59
			40,3%				28,1%
Sudeste	225	574	799	6.830.732	16.231.026	23.061.758	63
			47,9%				28,0%
Sul	165	291	456	4.538.688	4.523.172	9.061.860	41
			38,3%				35,3%
Centro-Oeste	61	140	201	616.256	3.683.731	4.299.987	18
			43,0%				29,6%
Total - 2019	643	1.617	2.260	14.905.678	34990.096	49.895.774	190
			39,1%				28,0%
Total - 2018	571	1.603	2.174	19.684.140	35.593.243	55.277.383	199
			39,1%				31,3%
Total - 2017	414	1.659	2.073	12.575.700	39.872.959	52.448.659	168
			37,2%				29,9%

Tabela 6: Consórcios públicos intermunicipais para os serviços de manejo RSU dos municípios participantes do SNIS em 2019.

Fonte: (BRASIL, 2020, p. 234).

Uma granja no município de Sete Lagoas (Minas Gerais) recolhe raspas de salgados que não passam no controle de qualidade de uma indústria de alimentos e os utiliza como matéria-prima para a sua produção de compostagem e de ração para porcos. Esse processo de comercialização de resíduos e outros recursos que sobram de uma empresa para outra se torna cada vez mais comum nesse município, onde dezenove empresas se uniram para desenvolver um modelo de negócio coletivo de prestação de serviços para reaproveitamento e intercâmbio de recursos, negociando resíduos e água em um sistema que envolve os setores alimentício, automotivo e de autopeças, metalmeccânico e têxtil (CNI, 2021). Esse é um exemplo de como a economia circular é oportunidade para o uso mais eficiente dos recursos e aumento da competitividade da indústria.

Nesse caminho, o “Mapa Estratégico da Indústria 2018-2022”, elaborado pela Confederação Nacional da Indústria no Brasil (CNI) estabeleceu a meta de aumentar a

proporção de plástico reciclado em relação à produção total de plásticos, de 9,8% para 12,5% até 2021, o que exige regulamentação dos instrumentos econômicos da Política Nacional de Resíduos Sólidos. Isso aponta para um caminho da indústria brasileira para a economia circular (CNI, 2021).

Expandem-se, assim, a visão de que as redes de cidades para transição para cidade circular não se restringem a estratégias de gestão de RSU, mas a diversos tipos de negócios circulares e de negócios que aplicam estratégias de economia circular. Nesse caminho, formações de ecoparques industriais dentro dessas redes de cidades pode colaborar e, nesse sentido, deve fazer parte dessas redes, mesmo sendo esse um desafio que precisa de muito planejamento para ser alcançado. A figura 32 mostra a representação espacial dos municípios integrantes de consórcios públicos intermunicipais para serviços de manejo de RSU.

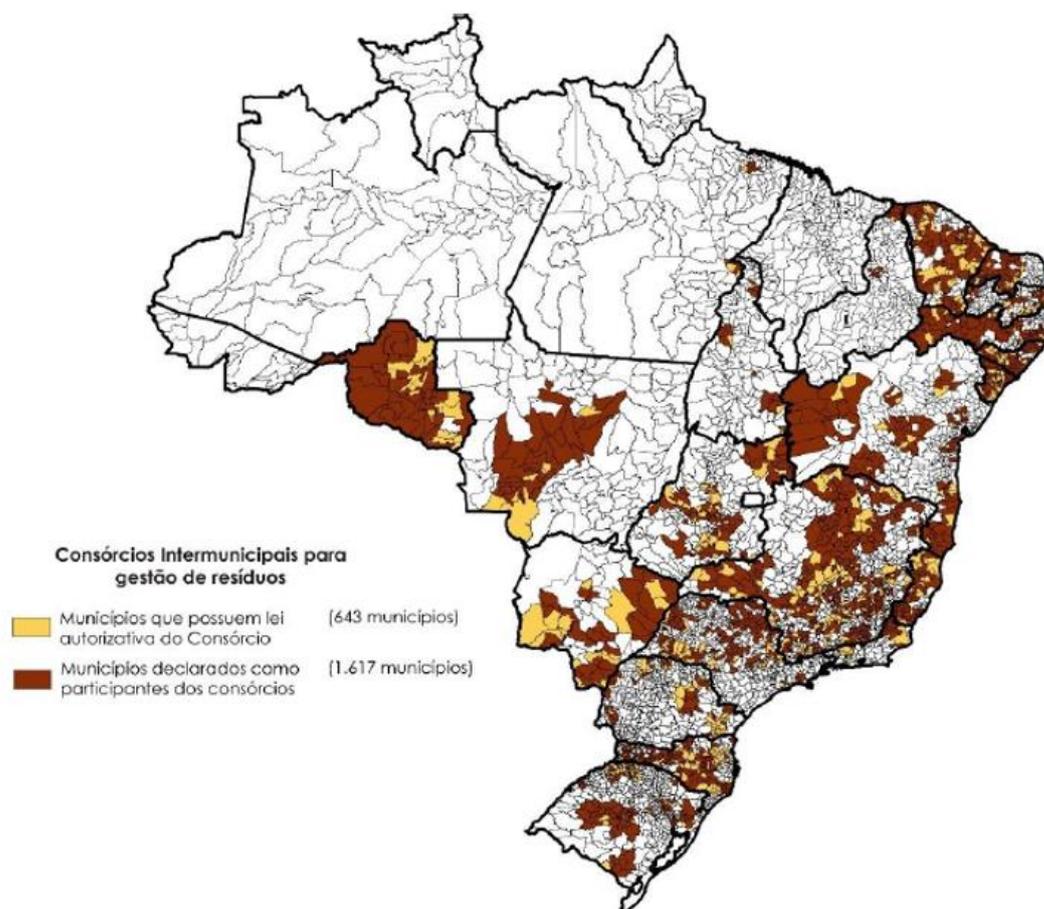


Figura 32: Consórcios públicos intermunicipais para serviços de manejo de RSU em 2019.
Fonte: (BRASIL, 2020, p. 239).

Da figura, pode-se inferir que há um bom potencial para formação de redes para programas/projetos de transição para cidade circular em grande parte do país, dado a boa distribuição dos consórcios intermunicipais já existentes para serviços de manejo de RSU.

7.4 CONSIDERAÇÕES DO CAPÍTULO

Como um centro urbano pode ser inserido na economia circular? A ação local de práticas de economia circular pode resultar em sustentabilidade em um âmbito global? A busca de respostas a essas questões implica entender que cada cidade envolve grande número de ciclos materiais diferentes, alguns fortemente interligados e outros separados, alguns são circulares e outros lineares. O alumínio foi escolhido para ser exemplo de estudo neste capítulo de tese por ser um caso de sucesso em reciclagem no país. Considera-se que a reciclagem de outros tipos de resíduos de uma cidade - como orgânicos, papel, plástico e vidro, entre outros – também pode ser enquadrada nas estruturas que foram mostradas neste capítulo, seja na situação de *clusters* de circularidade, seja na de redes de cidades.

O alumínio funciona em qualquer tamanho de município porque é valioso. O custo de transporte faz com que outros tipos de resíduos não funcionem em municípios pequenos. Vidro, por exemplo, é um resíduo barato com estrutura de reciclagem em poucas localidades e transporte caro. Assim, o cerne da questão é econômico. O recurso financeiro é sempre um fator chave para que as cidades percebam a importância de promover a transição para cidade circular, pois pode haver ganho financeiro tanto nas estratégias de transição para cidade circular por meio de ciclos fechados quanto de ciclos semifechados.

Resíduos como vidro e plástico seguem ciclos lineares no Brasil porque os diversos agentes motivadores que estão envolvidos (mercado, tecnologia, economia, políticas públicas, legislação, logística e engajamento de atores) são difíceis de serem encontrados na maioria das cidades e regiões. Esses são, portanto, recursos cuja ciclagem demanda maior estrutura, e exige a formação de redes de cidades, além de uma estrutura de base em ciência e tecnologia e de condições estruturais. Quando a cidade ou a sua região possui a estrutura necessária, sugere-se a estrutura em *clusters* de circularidade. Quando não houver toda a estrutura necessária em uma única cidade, sugere-se a formação de redes de cidades.

Assim, é possível realizar a transição para cidade circular por meio da implementação e replicação de projetos/programas de economia circular em redes de cidades e em *clusters* de circularidade que se formem para atendimento da estrutura de requisitos necessária à transição. Isso forma uma espiral (figura 33), onde as estratégias são implementadas em uma estrutura de planejamento e implementação que considere a realidade da cidade, as suas limitações e o nível tecnológico que pode ser empregado nela. Isso permite que a transição comece a acontecer respeitando a situação diagnosticada em cada cidade.

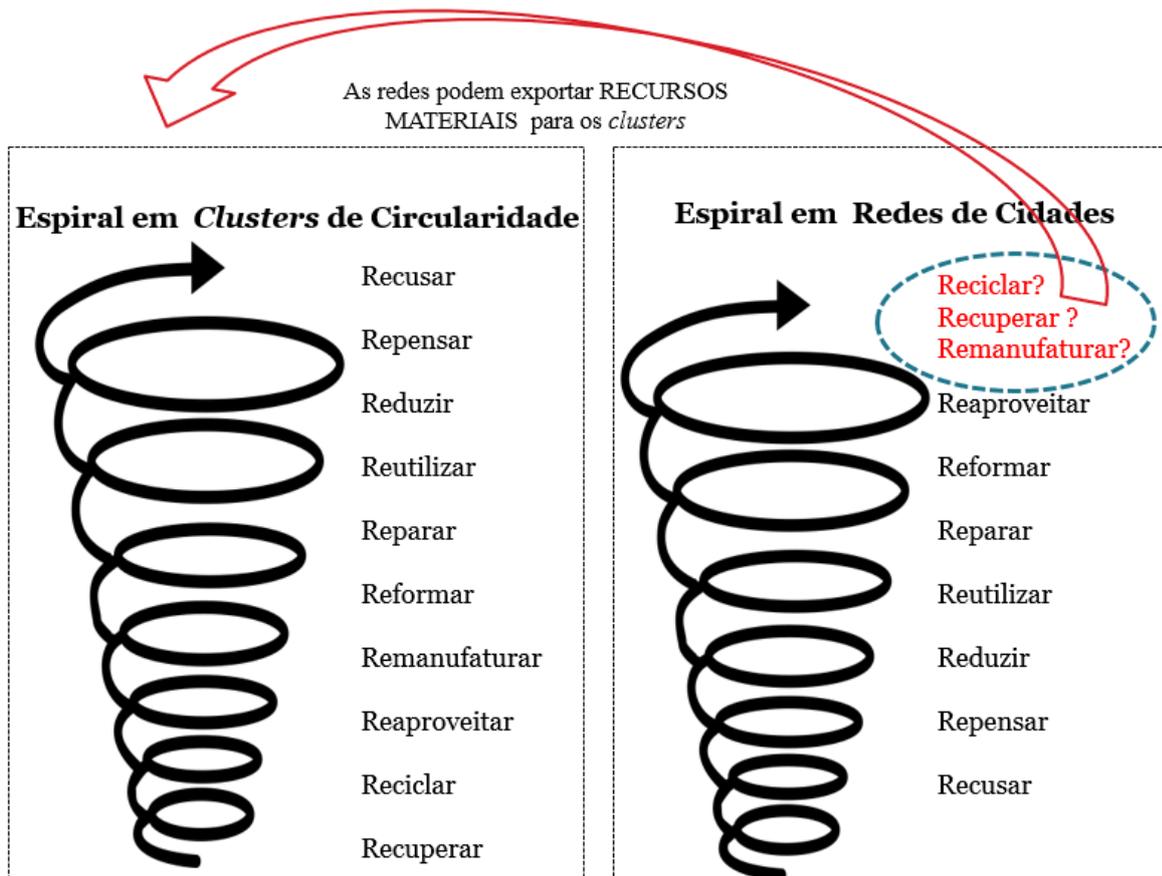


Figura 33: Espirais de transição para cidade circular em *clusters* circularidade e de redes cidades.
Fonte: Elaboração própria.

Conforme pode ser visualizado também na figura 34, as redes de cidade que não puderem ter estrutura para reciclar e recuperar, podem unir seus resíduos e dividir custos logísticos para exportar os seus resíduos. Considera-se também que a transição para cidade circular, conforme demonstrado ao longo desta tese, não se resume a estratégias de reciclagem; envolvendo também práticas de otimização, substituição, adaptação e virtualização. Assim, todos os níveis de estratégias de transição para cidade circular podem ser enquadrados na estrutura aqui apresentada, embora para efeitos de pesquisa, este capítulo tenha apresentado somente o caso do alumínio.

A existência das redes de circularidade tem critérios relacionado à legislação e à ação dos atores sociais envolvidos. No que diz respeito à ação, esses atores são governo, empresas e cidadãos. A legislação no âmbito da esfera federal envolve maior complexidade de ser trabalhada, pelas barreiras que apresenta. Assim, as redes de circularidade urbana proposta nesta tese se baseiam no que é possível ser feito em escala de cidades/municípios para que seja

feita a transição para cidade circular, dependendo da ação dos agentes envolvidos (prefeitos, vereadores, empresas e comunidades locais).

O motivo de formação das redes é que essas possam compartilhar e/adquirir recursos em conjunto, tais como canais de comunicação, bancos de dados, recursos humanos, tecnologias, estrutura física, equipamentos, recursos materiais, campanhas de incentivo e estrutura logística. (figura 34).

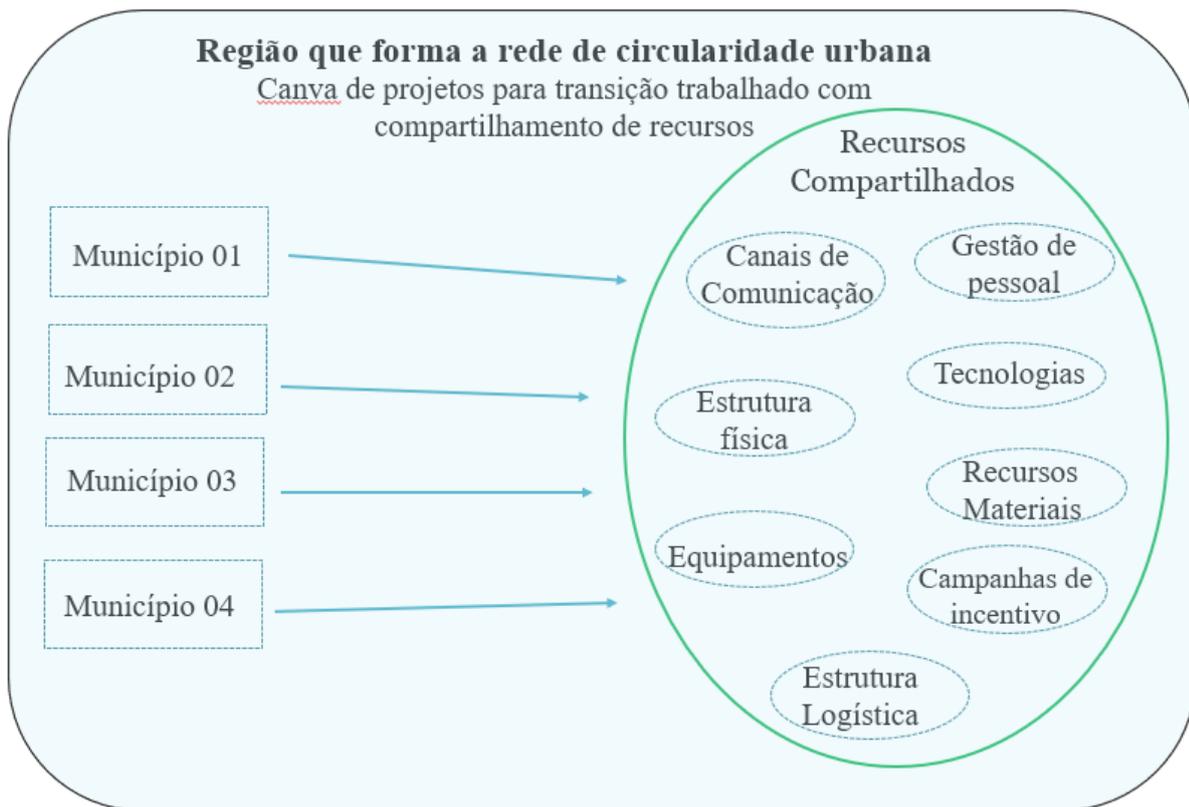


Figura 34: Rede de circularidade urbana.
Fonte: Elaboração própria.

Tanto a estrutura em *clusters* circularidade quanto a em redes de cidades, requer a formação por negócios complementares - com ou sem fins lucrativos - que favoreçam a transição para cidade circular, atendendo a resultados econômicos, sociais e ambientais. Os ambientais estão na diminuição de uso de recursos naturais e do consumo de matérias primas virgens. Os pressupostos sociais estão na criação de novos postos de trabalho e formas de geração de renda, bem como na economia com a compra de produtos mais duradouros ou baratos, tais como os provenientes de *eco-design* e *upcycling*, por exemplo.

Enquanto a economia linear foca em crescimento econômico, a economia circular está direcionada para desenvolvimento econômico com valor social agregado. Neste sentido, é

importante atentar para melhores condições de trabalho e benefícios para catadores que, na medida em aumente o engajamento da sociedade com as práticas de economia circular e o nível de tecnologia agregados a essa, possam receber capacitação e incentivo para serem microempreendedores individuais em negócios circulares que possam atuar em estratégias de economia circular que vão além da reciclagem (como conserto, reforma e compartilhamento de produtos).

A transição para cidade circular se dá por meio da implementação de programas/projetos relacionados a estratégias da estrutura R da economia circular e que dependendo da estrutura de cada cidade ou região em relação aos requisitos de transição para cidade circular (base de ciência, tecnologia e inovação, condições estruturais, governança e dínamo da inovação) de acordo com o setor, material e/ou produto. Enquanto a economia linear foca em crescimento econômico, a economia circular está direcionada para desenvolvimento econômico. Devido à ausência de tecnologias que possibilitem o máximo de ciclagem local, tecnologias de baixo custo e fácil acesso poderiam também ser replicadas e escalonadas em cidades menores.

Na transição para cidade circular, uma mesma área urbana pode, dependendo da situação, realizar ciclos fechados e ciclos semiabertos. Os ciclos fechados ocorrem quando é possível fazer com que o material ou produto realize o berço-ao-berço, como no caso de resíduos orgânicos que podem se tornar bicomcombustível dentro da própria cidade ou em sua zona rural próxima. Já no caso apresentado acerca do alumínio, a reciclagem do material só acontece em cidades onde se tenha plantas industriais para fazer a transformação, de tal forma que as cidades coletoras exercem uma função de abastecimento, em ciclo semiaberto. Neles, se promove o recolhimento adequado do produto em fim de vida ou das suas partes e esse são exportados (vendidos ou trocados) para outras localidades onde possam se transformar em matéria-prima novamente. Nesta situação, deve-se atentar para a viabilidade logística, e para os custos ambientais relacionados ao transporte.

CONCLUSÃO

i) Contribuições para ciência e implicações práticas

O objetivo específico de identificar os principais requisitos e estratégias da economia circular foi atendido por meio do capítulo três, que contribui para a literatura a respeito de economia circular ao levantar a discussão, no que tange ao trabalho apresentado por BOCKEN (2017), que além de ciclos vagarosos e fechados, a transição para a economia circular também se dá por meio de estágio de total virtualização onde o produto pode ser compartilhado e o desempenho do produto ou do serviço pode ser obtido por meio, principalmente, de serviços circulares.

O capítulo quatro, atendeu ao objetivo específico de analisar como fluxos de metabolismo urbano se relacionam com práticas de economia circular na cidade. Assim, foi possível compreender como o metabolismo urbano pode ser impactado pela implementação dos princípios da economia circular. Este capítulo contribui para a tese diante das considerações de que uma cidade precisa tanto importar quanto exportar fluxos, ao mesmo tempo em que a maioria não detém toda a estrutura necessária para converter seus resíduos em novas entradas. Isso ajudou na percepção de que o caminho de transição para cidade circular pode ser organizado com *clusters* de circularidade ou como redes de cidades, a depender do tipo de recurso. Nesse contexto, os capítulos três e quatro “pavimentaram o caminho” para que, a partir disso, fosse possível compreender características e modelos de viabilidade de transição para cidade circular.

O capítulo cinco foi um importante passo para identificar a viabilidade de implementação da transição para cidade circular e a sua contribuição para a sustentabilidade urbana. Pois as metodologias identificadas na revisão de literatura demonstram a viabilidade de transição, se essas forem usadas para a implementação de projetos e programas de transição para cidade circular. As relações estabelecidas neste capítulo entre a cidade circular e demais categorias urbanas sustentáveis (figuras 19 e 20) também contribuem para a literatura a respeito da temática de cidade circular no que tange à contribuição dela para a sustentabilidade urbana.

O capítulo seis permitiu descrever os principais agentes motivadores da transição para cidade circular. O capítulo demonstrou que a transição para cidade circular é viável, mas que exige a existência de um conjunto de agentes motivadores que envolve, políticas de incentivo, normatização, governança entre os diversos atores sociais envolvidos, aporte tecnológico e

instrumentos de padronização de controle, entre outros. A estrutura de requisitos à transição para cidade circular (figura 22) e o canva de estruturação de requisitos de projetos/programas de transição para cidade circular (figura 23) foram importantes contribuições deste capítulo, pois são instrumentos práticos que podem ser aplicados em projetos/programas de transição para cidade circular.

O capítulo sete, atendeu ao objetivo específico de propor uma estrutura por meio da qual se possa elencar os requisitos básicos a serem atendidos em projetos/programas de transição para cidade circular. Assim, verificou-se que a transição para cidade circular é possível para qualquer tipo de cidade, visto que, de acordo com as necessidades de cada cidade, a transição pode se dar por meio de *cluster* de circularidade ou por meio de redes de cidades. Os resultados do capítulo sete demonstraram que a transição para cidade circular se apoia em dois requisitos principais: a) estrutura de governança com protagonismo de entidades representativas do setor público; e b) estruturação de redes de cidades ou de *clusters* de circularidade a depender do tipo de material/produto, dos recursos de cada cidade e de qual estratégia da estrutura R da economia está sendo trabalhada.

Destarte, os estudos realizados nesta tese permitiram conceituar cidade circular como aquela que adota os princípios da estrutura R da economia circular por meio da implementação de um conjunto de estratégias estruturado e formalizado que contribui para regenerar, compartilhar, otimizar, ciclar e substituir recursos; e cujo nível mais alto de transição comporta, em acréscimo, estratégias de adaptação e de desmaterialização.

Da mesma forma que a economia circular não se reduz a estratégias de reciclagem, a transição para cidade circular também vai além de projetos de reciclagem. Assim, ‘cidade com projetos de economia circular’ é diferente de ‘cidade circular’. Pois, para que uma cidade possa iniciar o seu processo de transição para cidade circular, é necessária a implementação de política pública que abranja um conjunto de programas/projetos cujo eixo norteador contenha o máximo possível de recursos, setores, agentes sociais e princípios da estrutura R da economia circular.

Quando analisadas as características de uma cidade circular em comparativo a outras categorias urbanas sustentáveis, verifica-se que ela possui, de maneira intrínseca, diversas características de outras categorias, tais como cidade resiliente e cidade de baixo carbono, entre outras analisadas nesta tese. O que diferencia a cidade circular das demais categorias urbanas sustentáveis é o seu foco na dimensão econômica, visto que o pressuposto principal para a ciclagem e/ou prolongamento da vida útil de recursos é o resultado financeiro positivo alinhado

a bons resultados ambientais. Verificou-se também que a transição para cidade circular é possível, por ter sido enquadrada no âmbito desta tese como uma categoria operacional, e que contribui para tornar as cidades ambientes mais resilientes e sustentáveis.

Os requisitos principais que devem ser atendidos para a implementação dos princípios e estratégias da economia circular abrangem dimensões de governança, políticas públicas, desenvolvimento de processos produtivos e negócios circulares e desenvolvimento e transferência de tecnologias. O atendimento a esses requisitos exige a ação protagonista do setor público por meio de políticas (normas, regulamentação, certificações, padronizações e incentivos) que contribuam para uma estrutura que envolva requisitos organizados em quatro grupos de agentes motivadores à transição para cidade circular: base de ciência, tecnologia e inovação; condições estruturais; governança; e dínamo da inovação.

A transição para cidade circular contribui para que se tenha também uma estrutura de metabolismo urbano circular e pode ocorrer por meio da implementação de *clusters* de circularidade ou de redes de cidades. Destarte, a transição para cidade circular se dá em estrutura espiral crescente de tal forma que, quando maior a quantidade de projetos/programas que se tenha, maior o nível da transição. Assim, uma mesma cidade pode (deve) participar de diversas estruturas diferentes em *clusters* e em redes no seu processo de transição; o que envolve um conjunto diferente de projetos/programas que varia em termos de setores, materiais e princípios de economia circular envolvidos. Considera-se também que a amplitude dessa espiral tem como requisito fundamental a condição estrutural, no que tange à ação de entidades governamentais que desenvolvam, implementem e monitorem a aplicabilidade de políticas públicas que incentivem a transição para cidade circular em todos os níveis – micro, meso e macro.

Há necessidade de mais estudos e esforços empregados no que tange à contribuição da transição para a cidade circular na dimensão social, como, por exemplo, a qualidade dos empregos que são gerados, a potencialidade e os incentivos à criação de negócios circulares e, sobretudo em países em desenvolvimento como o Brasil, a realidade de trabalhadores que atuam como catadores. Uma maneira de tornar as estratégias de transição para economia circular mais justas na dimensão social pode ser o caminho de incentivo a microempreendedores individuais desenvolverem negócios circulares dentro de todas as potencialidades de aplicação da estrutura R da economia circular; o que abrange negócios que podem ser implementados no âmbito de ciclos fechados, vagarosos e de virtualização total. Assim, trabalhadores podem ser capacitados para atuarem e para criarem seus negócios dentro de toda a espiral de transição para cidade circular, e não somente com reciclagem. Sendo que mesmo os que atuam com reciclagem

precisam de melhores condições de trabalho e de segurança no atendimento a benefícios sociais básicos.

Assim, conclui-se que a transição para cidade circular é viável e que deve atender a todas as dimensões da sustentabilidade. Por fim, afirmar-se que sustentabilidade não é um fim em si, mas um caminho a ser seguido com foco em melhoria e desenvolvimento contínuos. Infere-se disso, que a transição para cidade circular não é algo pronto, é um caminho que está sendo construído no intuito de contribuir para que as relações de consumo de produtos e serviços e o descarte de resíduos dentro de ambientes urbanos se tornem mais sustentáveis.

ii) Limitações da pesquisa e Sugestões de pesquisas futuras

Esta pesquisa teve as seguintes limitações:

- a) A tese limitou-se principalmente à base de dados de dados científicos *Scopus*, por ser ela a que mais continha publicações sobre as suas temáticas nos anos iniciais desta pesquisa (2017 e 2018). Em 2022, a base *Web of Science*, por exemplo, tem mais publicações.
- b) Devido à medida sanitária de quarentena imposta para enfrentamento à pandemia de COVID 19, esta tese limitou-se à revisão de literatura e houve pouca aplicação de questionários.

iii) Sugestões de pesquisas futuras

Sugere-se que pesquisas futuras utilizem as contribuições teóricas apresentadas nesta tese para realizar trabalhos empíricos de mapeamento de estratégias de transição em cidades. Sugere-se que sejam aplicados em projetos/programas de *clusters* de circularidade e de redes de cidades com foco na transição para cidade circular as seguintes estruturas desenvolvidas nesta tese: o dínamo de transição para a economia circular (figura 13), o diagrama de relação entre as características de outras tipologias urbanas sustentáveis contidas na cidade circular (figura 19) e o canva de estruturação de requisitos de projetos/programas de transição para cidade circular (figura 23).

Poucos dos autores apresentados, como SEHNEM et al (2019) e FRATINI et al (2019), abordam a necessidade de pesquisas que tratem dos resultados sociais advindos da implementação de estratégias de economia circular. Falta discussão sobre o potencial de desenvolvimento dela em relação à dimensão social da sustentabilidade. Há necessidade de

mais estudos e esforços empregados no que tange à contribuição da transição para a cidade circular na dimensão social, como, por exemplo, a qualidade dos empregos que são gerados, a potencialidade e os incentivos à criação de negócios circulares e, sobretudo em países em desenvolvimento como o Brasil, a realidade de trabalhadores que atuam como catadores.

Assim, sugere-se o desenvolvimento de pesquisas sobre os efeitos sociais relacionados a questões tais como o potencial de negócios circulares para microempreendedores individuais em áreas como o conserto, compartilhamento e aluguel de produtos; o impacto e qualidade potencial dos empregos que as estratégias de economia circular podem gerar; e a situação dos atuais trabalhadores da economia circular, como as pessoas que atuam na cadeia de reciclagem.

REFERÊNCIAS

- ABAL. Disponível em: <http://abal.org.br/visao-estrategica/>. Acesso: set. 2020.
- ABAL. Mapa Síntese – Rota Estratégica da Cadeia Brasileira do Alumínio 2030. Disponível em: <http://abal.org.br/roadmap/mapa-sintese/>. Acesso: set. 2020.
- ABAL. Alumínio brasileiro: soluções para uma vida sustentável. 2017. Disponível em: <http://abal.org.br/publicacao/aluminio-brasileiro-solucoes-para-uma-vida-sustentavel/>. Acesso: set. 2020.
- ABIVIDRO. Associação Brasileira das Indústrias de Vidro. Disponível em: <https://abividro.org.br/2019/02/07/vidro-o-residuo-infinitamente-reciclavel/>. Acesso: jun. 2020.
- ABRELPT. (2021). Panorama de resíduos sólidos no Brasil em 2021. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/download-atlas/>. Acesso: abr. 2022.
- ADB. Asian Development Bank. 2014. Disponível em: <https://www.adb.org/sites/default/files/publication/42665/solid-waste-management-palau.pdf>. Acesso: Mai. 2020.
- ADEME. (2015). *White paper on the circular economy of the greater Paris*. Disponível em: <https://api-site.paris.fr/images/77050>. Acesso: set. 2018. Acesso: nov. 2018.
- AGUDELO-VERA, Claudia M. ; et al. Harvesting urban resources towards more resilient cities. *Resources, Conservation and Recycling* 64 (2012) 3– 12. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.01.014>.
- ALMEIDA, Fernando. *Os desafios da sustentabilidade: uma ruptura urgente*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007. 5 ed.
- ALMENAR, Javier Babi; et al. Nexus between nature-based solutions, ecosystem services and urban challenges. *Land Use Policy* 100 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104898>.
- ANDERSSON, Aida. ‘Green cities’ going greener? Local environmental policy-making and place branding in the ‘Greenest City in Europe’. *European Planning Studies*, 24:6, 1197-1215. <https://doi.org/10.1080/09654313.2016.1152233>.
- MNCR. Anuário de Reciclagem 2021. Movimento Nacional dos Catadores de Materiais Recicláveis: 2021. Disponível em: [https://uploads-ssl.webflow.com/605512e6bb034aa16bac5b64/61c0df8ef4e32e41f3ef9943_Anuar%CC%81rio%20da%20Reciclagem%202021%20\(1\).pdf](https://uploads-ssl.webflow.com/605512e6bb034aa16bac5b64/61c0df8ef4e32e41f3ef9943_Anuar%CC%81rio%20da%20Reciclagem%202021%20(1).pdf). Acesso: mai. 2022.
- ARORA, Mohit; et al. Residential building material stocks and component-level circularity: The case of Singapore. *Journal of Cleaner Production*, 216 (2019) 239-248. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.199>.
- ARTMANN, Martina; et al. Using the Concepts of Green Infrastructure and Ecosystem Services to Specify Leitbilder for Compact and Green Cities—The Example of the Landscape Plan of Dresden (Germany). *Sustainability* (2017), 9, 198. <https://doi.org/10.3390/su9020198>.
- ARTMANN, Martina; et al. How smart growth and green infrastructure can mutually support each other - A conceptual framework for compact and green cities. *Ecological Indicators*, 96 (2019) 10–22. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.07.001>.
- AYRES, R. U. U. E. S. (1994). *Industrial metabolism: Restructuring for sustainable development*. Tokyo: *United Nations University Press*.

- BAKKER, C. W., Feng; HUISMAN, Jaco; HOLLANDER, Marcel den. (2014). Products that go round: exploring product life extension through design. *Journal of Cleaner Production*, 69, 10-16. doi:10.1016/j.jclepro.2014.01.028
- BALDASSARRE, Brian; et al. Industrial Symbiosis: towards a design process for eco-industrial clusters by integrating Circular Economy and Industrial Ecology perspectives. *Journal of Cleaner Production* 216 (2019) 446e460. doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.091
- BARLES, S. (2007a). Feeding the city: Food consumption and flow of nitrogen, Paris, 1801–1914. *Science of the Total Environment* (375), 48-58. doi:https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.12.003
- BARLES, S. (2007b). Urban metabolism and river systems: an historical perspective – Paris and the Seine, 1790–1970. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11, 1757–1769. https://doi.org/10.5194/hess-11-1757-2007. Acesso: jun 2019.
- BARLES, S. (2010). Society, energy and materials: the contribution of urban metabolism studies to sustainable urban development issues. *Journal of Environmental Planning and Management*, 53(4), 439-455. doi:10.1080/09640561003703772
- BARLES, S. (2015). The main characteristics of urban socio-ecological trajectories: Paris (France) from the 18th to the 20th century. *Ecological Economics*, 118 (2015) 177–185. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.07.027. Acesso em: jul. 2019.
- BASTOS, M. H. R.; OLIVEIRA, U. R.. *Análise de discurso e Análise de Conteúdo: um breve levantamento bibliométrico de suas aplicações nas ciências sociais aplicadas da Administração*. In: XII SEGET, 2015, RESENDE. XII SEGET, 2015. Disponível em: https://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos15/26322295.pdf. Acesso: jun. 2019.
- BIBRI, Simon Elias; KROGSTIE, John. Smart sustainable cities of the future: An extensive interdisciplinary literature review. *Sustainable Cities and Society*, 31 (2017) 183–212. doi.org/10.1016/j.scs.2017.02.016.
- BOCKEN, N. M. P. P., Ingrid de; BAKKER; Conny; GRINTEN, Bram van der. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 33(5), 308-320. doi:10.1080/21681015.2016.1172124.
- BOEHM, Matthias; THOMAS, Oliver. Looking beyond the rim of one's teacup: a multidisciplinary literature review of Product-Service Systems in Information Systems, Business Management, and Engineering & Design. *Journal of Cleaner Production* 51 (2013) 245e260. doi http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.01.019
- BOHLE, H.-G. (1994). Metropolitan Food Systems in Developing Countries: The Perspective of "Urban Metabolism". *Geo Journal*, 34, 245-251. doi:10.1007/BF00813926. Acesso: fev. 2019.
- BOSONE, Martina; et al. The Circular City Implementation: Cultural Heritage and Digital Technology. In: *9th International Conference on Culture and Computing*. 2021. doi10.1007/978-3-030-774.
- BRASIL. Lei n. 10.257, DE 10 DE JULHO DE 2001. Regulamenta os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/110257.htm. Acesso: fev. 2021.
- BRASIL. Lei n. 12.305 de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, e dá outras providências. Disponível

em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso: ago. 2020.

BRASIL. RESOLUÇÃO CONAMA nº 302, de 20 de março de 2002 Publicada no DOU no 90, de 13 de maio de 2002, Seção 1, páginas 67-68. Dispõe sobre os parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente de reservatórios artificiais e o regime de uso do entorno. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=298>. Acesso: ago 2020.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2019. Brasília: SNS/MDR, 2020. 244 p. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-residuos-solidos/diagnostico-do-manejo-de-residuos-solidos-urbanos-2019>. Acesso em: abr. 2021.

BRILHANTE, Ogenis; KLAAS, Jannes. Green City Concept and a Method to Measure Green City Performance over Time Applied to Fifty Cities Globally: Influence of GDP, Population Size and Energy Efficiency. *Sustainability*, (2018) 10, 2031. <https://doi.org/10.3390/su10062031>.

BRINGEZU, S. e. M., Yuichi. (2002). Material flow analysis. In R. U. A. AYRES, I. W. (Ed.), *A handbook of industrial ecology*, 79-80. Massachusetts: Edward Elgar Publishing Limited. Disponível em: http://pustaka.unp.ac.id/file/abstrak_kki/EBOOKS/A%20Handbook%20of%20Industrial%20Ecology.pdf. Acesso: fev. 2019.

BRITO, Veronica T.F.; et al. Developing a green city assessment system using cognitive maps and the Choquet Integral. *Journal of Cleaner Production*, 218 (2019) 486-497. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.060>.

BROTO, Vanesa Castan; ALLEN, Adriana; RAPOPORT Elizabeth. Interdisciplinary Perspectives on Urban Metabolism. (2012) *Journal of Industrial Ecology*, volume 16, Number 6: doi/abs/10.1111/j.1530-9290.2012.00556.x.

BUSH, Judy; DOYON, Andreanne. Building urban resilience with nature-based solutions: How can urban planning contribute?. *Cities*, 95 (2019) 102483. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.102483>.

BYSTRÖM, Jonas. European Investment Bank. The 15 circular steps for cities. 2018. Disponível em: https://www.eib.org/attachments/thematic/circular_economy_15_steps_for_cities_en.pdf. Acesso: jul. 2019.

CALDEIRA-PIRES, Armando. *Avaliação do ciclo de vida: a ISSO 14040 na América Latina*. Brasília: ABIPTI, 2005.

CAMPBELL, Scott. Green Cities, Growing Cities, Just Cities? Urban Planning and the Contradictions of Sustainable Development of the American Planning Association, 62:3, 296-312. doi.org/10.1080/01944369608975696.

CAPPELLE, Mônica Carvalho Alves; MELO, Marlene Catarina de Oliveira Lopes; GONÇALVES, Carlos Alberto. *Análise de Conteúdo e análise de discurso nas ciências sociais*. 2011. Disponível em: <http://www.spell.org.br/documentos/ver/28450/analise-de-conteudo-e-analise-de-discurso-nas-ciencias-sociais/i/pt-br>. Acesso: fev. 2020.

CAPROTTI, Frederico. Eco-urbanism and the Eco-city, Denying the Right to the City? *Antipode*, Vol. 46, 5 (2014), 1285–1303. [doi/abs/10.1111/anti.12087](https://doi.org/10.1111/anti.12087).

- CASAUS, Maite Aurrekoetxea. Deconstruyendo la resiliencia urbana. *Revista de Ciencias Sociales*. Vol. 13, Extra 1 (2018), 229-255. doi:10.14198/OBETS2018.13.1.09.
- CEIC. 2019. Disponível em: <https://www.ceicdata.com/en/indicator/netherlands/annual-household-income-per-capita>. Acesso: mar. 2021.
- CEMPRE. Compromisso Empresarial para Reciclagem. Review 2019. Disponível em: <http://cempre.org.br>. Acesso: mai. 2020.
- CEMPRE. Compromisso Empresarial para Reciclagem. Ficha técnica Vidro. 2020. Disponível em: <http://cempre.org.br/artigo-publicacao/ficha-tecnica/id/6/vidro>. Acesso: jun. 2020.
- CHEN, Xiuwen. Mapping the research trends by co-word analysis based on keywords from funded project. *Procedia Computer Science* 91 (2016) 547 – 555. doi.org/10.1016/j.procs.2016.07.140
- CIRCLE ECONOMY. (2016). *Circular Amsterdam: a vision and action agenda for the city and metropolitan area*. Disponível em: <https://www.circle-economy.com/wp-content/uploads/2016/04/Circular-Amsterdam-EN-small-210316.pdf>. Acesso: jun. 2021.
- CIRCLE ECONOMY. (2018). *Circular jobs e skills: in the Amsterdam metropolitan area*. Disponível em: <https://www.circle-economy.com/resources/circular-jobs-skills-in-the-amsterdam-metropolitan-area>. Acesso: jan. 2020.
- CIRCLE ECONOMY. (2019). *The Circularity Gap Report - 2019*. Disponível em: Closing the Circularity Gap in a 9% World. Disponível em: https://docs.wixstatic.com/ugd/ad6e59_ba1e4d16c64f44fa94fbd8708eae8e34.pdf. Acesso em: mar. 2020.
- CIRCLE ECONOMY AND THE CITY OF AMSTERDAM. *Amsterdam Circular 2020-2025 Strategy* (2020). Disponível em: <https://www.amsterdam.nl/en/policy/sustainability/circular-economy/>. Acesso: jan 2020.
- CIRCLE ECONOMY. *The Circularity Gap Report - 2022*. Disponível em: https://circulars.iclei.org/wp-content/uploads/2022/02/1.-Report_-CGR-Global-2022.pdf. Acesso: jun. 2022.
- CIRCLE ECONOMY AND THE CITY OF AMSTERDAM. *Amsterdam Circular 2020-2025 Strategy* (2020). Disponível em: <https://www.amsterdam.nl/en/policy/sustainability/circular-economy/>. Acesso: jan 2020.
- CIRCULAR CITIES DECLARATION. 2021. Disponível: <https://circularcitiesdeclaration.eu/>. Acesso: jan. 2021.
- CIRCULAR CITY FUNDING GUIDE. 2021. Disponível em: <https://www.circularcityfundingguide.eu/circular-city-initiatives-and-resources/>. Acesso: jan. 2021.
- CITY OF AMSTERDAM. Disponível em: <https://www.amsterdam.nl/en/waste-recycling/>. Acesso: mar. 2021.
- CLINTON, A. J. (2002). Municipal solid waste management. In E. E. P. Limited (Ed.), *A handbook of industrial ecology*. Massachusetts: AYRES, R. U.; AYRES, I. W.
- CNI. Confederação Nacional da Indústria. 2021. Disponível em: <https://noticias.portaldaindustria.com.br/artigos/catilo-candido/a-latinha-e-o-seu-legado/>. Acesso: abr. 2021.

CNI. *Mapa estratégico da indústria 2018-2022* / Confederação Nacional da Indústria. – Rev. e atual. – Brasília: CNI, 2018. Disponível em:

<http://www.portaldaindustria.com.br/cni/canais/mapa-estrategico-da-industria/fatores-chave/recursos-naturais-e-meio-ambiente/>. Acesso: abr. 2021.

COBO, M. J. An approach for detecting, quantifying, and visualizing the evolution of a research field: A practical application to the Fuzzy Sets Theory field. *Journal of Informetrics* 5 (2011) 146–166. doi.org/10.1016/j.joi.2010.10.002

COBO, M. J. H., L. E.; HERRERA, V.; HERRERA, F. (2012). SciMAT: a new Science Mapping Analysis Software Tool. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 1609-1630. doi: 10.1002/asi.22688

COELHO, D. R., M. (2006). Seeking a unified urban systems theory. *Transactions on Ecology and the Environment*, 93, 179-188. doi:10.2495/SC060171.

COHEN, Boyd; MUÑOZ, Pablo. Sharing cities and sustainable consumption and production: towards an integrated framework. *Journal of Cleaner Production*, 134 (2016) 87-97. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.133>

COLLÉONY, Agathe; SHWARTZ, Assaf. Beyond Assuming Co-Benefits in Nature-Based Solutions: A Human-Centered Approach to Optimize Social and Ecological Outcomes for Advancing Sustainable Urban Planning. *Sustainability* (2019), 11, 4924. <https://doi.org/10.3390/su11184924>.

CORCELLI, F.; et al. Transforming rooftops into productive urban spaces in the Mediterranean. An LCA comparison of agri-urban production and photovoltaic energy generation. *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 144, May 2019, Pages 321-336. doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.01.040

COZBY, P. C. (2003). *Métodos de pesquisa em ciências do comportamento*. São Paulo: Atlas, 2003.

CUGURULLO, Frederico. Exposing smart cities and eco-cities: Frankenstein urbanism and the sustainability challenges of the experimental city. *Environment and Planning A: Economy and Space* (2018), Vol. 50(1) 73–92. <https://doi.org/10.1177/0308518X17738535>

DAGNINO, Ricardo de Sampaio; JOHANSEN, Igor Cavallini. Os catadores no Brasil: características demográficas e socioeconômicas dos coletores de material reciclável, classificadores de resíduos e varredores a partir do censo demográfico de 2010. *Mercado de Trabalho*, 62, abr. 2017. Disponível em: http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/7819/1/bmt_62_catadores.pdf. Acesso: mai. 2022.

DAHLBO, Helena; et al. Recycling potential of post-consumer plastic packaging waste in Finland. *Waste Management* 71 (2018) 52–61. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.10.033>

D’AMICO, Gaspare; et al. Digitalisation driven urban metabolism circularity: A review and analysis of circular city initiatives. *Land Use Policy* 112 (2022).

<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105819>

DANNEELS, K. (2018). Historicizing Ecological Urbanism: Paul Duvigneaud, the Brussels Agglomeration and the influence of ecology on urbanism (1970-2016). https://www.academia.edu/36091293/Historicizing_Ecological_Urbanism_Paul_Duvigneaud_the_Brussels_Agglomeration_and_the_influence_of_ecology_on_urbanism_1970_2016_

DAVIS, Mike. *Planeta Favela*. São Paulo: Boitempo, 2006.

- DESPEISSE, M.; et al. Unlocking value for a circular economy through 3D printing: A research agenda. *Technological Forecasting & Social Change* 115 (2017) 75–84. doi:10.1016/j.techfore.2016.09.021
- DICIONÁRIO ON-LINE DE PORTUGUÊS. Disponível em: <https://www.dicio.com.br/>. Acesso: ago. 2020.
- DISTRITO FEDERAL. Lei nº 5610 DE 16 de fevereiro de 2016. Dispõe sobre a responsabilidade dos grandes geradores de resíduos sólidos e dá outras providências. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=316678#:~:text=Disp%C3%B5e%20sobre%20a%20responsabilidade%20dos,inertes%20produzidos%20por%20grandes%20geradores.> Acesso: jun. 2020.
- DJIAN, Z. (2004). Towards a closed-loop materials economy. *Chinese Journal of Population Resources and Environment*, 2(1), 9-12. doi:10.1080/10042857.2004.10677342
- DONG, Liang; et al. Uncovering opportunity of low-carbon city promotion with industrial system innovation: Case study on industrial symbiosis projects in China. *Energy Policy*, 65(2014) 388–397. doi:10.1016/j.enpol.2013.10.019
- DUSHKOVA, Diana; HAASE, Dagmar. Not Simply Green: Nature-Based Solutions as a Concept and Practical Approach for Sustainability Studies and Planning Agendas in Cities. *Land* (2020) 9, 19. doi.org/10.3390/land9010019
- ECYCLE. 2020. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/711-reciclagem-de-plastico.html>. Acesso em: out. 2020.
- EHRENFELD, Jonh; GERTLER, Nicholas. Industrial Ecology in Practice The evolution of Interdependence at Kalundborg. *Journal of Industrial Ecology*. 1997. Volume 1, Number 1. doi/abs/10.1162/jiec.1997.1.1.67
- EIB. The EIB Circular Economy Guide – Supporting the circular transition. European Investment Bank, 2020. Disponível em: <https://www.eib.org/en/publications/the-eib-in-the-circular-economy-guide>. Acesso: dez. 2019.
- EJATLAS. Catadores de lixo lutam na pós revolução da Tunísia. Environmental Justice Atlas. Disponível em: <https://ejatlas.org/conflict/wastepickers-in-tunis-struggle-forth-in-post-revolution-tunisia>. Acesso: mai. 2020.
- ELIA, Valerio; GNOMI, Maria Grazia; TORNESE. Measuring circular economy strategies through index methods: A critical analysis. *Journal of Cleaner Production*, 142 (2017) 2741e2751. doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.196
- EMF. (2013). *Towards de circular economy*. In E. M. FOUNDATION (Series Ed.). Retrieved from <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Ellen-MacArthur-Foundation-Towards-the-Circular-Economy-vol.1.pdf>
- EMF. (2015). Delivering the circular economy a toolkit for policymakers. HELLEN MACARTHUR FOUNDATION (Ed.). Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/pt/publicacoes>. Acesso: mai 2018.
- EMF. (2017). *Cities in the circular economy: an initial exploration* In E. M. FOUNDATION (Ed.). Retrieved from <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/pt/publicacoes>. Acesso: nov 2017.

- EMF. (2018). The circular economy opportunity for urban & industrial innovation in China. HELLEN MACARTHUR FOUNDATION (Ed.). Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications>. Acesso: jan 2020.
- EMF. 2020. Financing the circular economy Capturing the opportunity. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications>. Acesso: jan. 2021.
- EUROCITIES. 2021. Disponível em: <https://eurocities.eu/goals/circular-economy/>. Acesso: fev. 2021.
- EUROPEAN COMMISSION. 2013. European Commission Capital factsheet - Amsterdam/Netherlands Assessment of separate collection schemes in the 28 capitals of the EU. Disponível em: <https://www.municipalwasteurope.eu/sites/default/files/NL%20Amsterdam%20Capital%20factsheet.pdf>. Acesso: mar. 2021.
- EUROPEAN COMMISSION. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32008L0098>. Acesso: dez. 2020.
- EUROPEAN COMMISSION. Regulation (EC) No 1013/2006 of the European Parliament and of the Council of 14 June 2006 on shipments of waste. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32006R1013>. Acesso: Acesso: dez. 2020.
- EUROPEAN COMMISSION. Circular Economy Action Plan: for a cleaner and more competitive Europe. 2020. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1583933814386&uri=COM:2020:98:FIN>. acesso: dez. 2020.
- EUROPEAN COMMISSION. European Green Pact. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?qid=1596443911913&uri=CELEX:52019DC0640#document2>. Acesso: dez. 2020.
- EUROPEAN COMMISSION. Standardization Mandates: mandate number 543. Disponível em: <https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/mandates/index.cfm?fuseaction=search.detail&id=564#>. Acesso: dez. 2020.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Disponível em: https://standards.cen.eu/dyn/www/f?p=204:29:0:::FSP_ORG_ID,FSP_LANG_ID:2240017,25&cs=1D4156C3D679EE526A476E8463ACFAA98#1. Acesso: fev. 2021.
- EUROPEAN COMMISSION. (2015). Final Report of the Horizon 2020 Expert Group on 'Nature-Based Solutions and Re-Naturing Cities' Directorate-General for Research and Innovation 2015 Climate Action, Environment, Resource Efficiency and Raw Materials EN (full version). Disponível em: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/fb117980-d5aa-46df-8edc-af367cddc202>. Acesso em: out. 2020.
- EUROPEAN INVESTMENT BANK. 2020. Circular Economy Overview 2020. . Acesso: jan. 2020.
- EUROSTAT. (2001). Economy-wide material flow accounts and derived indicators: a methodological guide. In. Retrieved from <http://ec.europa.eu/eurostat/documents/1798247/6191533/3-Economy-wide-material-flow-accounts...-A-methodological-guide-2001-edition.pdf/>

- EUROSTAT. Disponível em: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/circular-economy/indicators/main-tables>. Acesso: jun. 2022.
- FANG, Kai; et al. Carbon footprints of urban transition: Tracking circular economy promotions in Guiyang, China. *Ecological Modelling*, 365 (2017) 30–44. doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2017.09.024
- FASTENRATH, Sebastian; et al. Scaling-up nature-based solutions. Lessons from the Living Melbourne strategy. *Geoforum* 116 (2020) 63–72. doi:10.1016/j.geoforum.2020.07.011
- FECOMERCIODF. Restaurantes de Brasília se unem para gerenciar corretamente o lixo. 2018. Disponível em: <https://www.fecomerciodf.com.br>. Acesso: ago. 2020.
- FERREIRA, António Cavaleiro de; FUSO-NERINI, Francesco. A Framework for Implementing and Tracking Circular Economy in Cities: The Case of Porto. *Sustainability* (2019), 11, 1813. doi.org/10.3390/su11061813
- FERRONATO, Navarro; et al. Introduction of the circular economy within developing regions: A comparative analysis of advantages and opportunities for waste valorization. *Journal of Environmental Management*, 230 (2019) 366–378. doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.09.095.
- FORKES, J. (2007). Nitrogen balance for the urban food metabolism of Toronto, Canada. *Resources, Conservation and Recycling* (52), 74-94. doi.org/10.1016/j.resconrec.2007.02.003.
- FRANKL, P. (2002). Life cycle assessment as a management tool. In R. U. A. AYRES, I. W (Ed.), *A handbook of industrial ecology*, 530-541. Massachusetts: Edward Elgar Publishing Limited.
- FRATINI, Chiara Farne; GEORG, Susse Georg; JØRGENSEN, Michael Søggaard. Exploring circular economy imaginaries in European cities: A research agenda for the governance of urban sustainability transitions. *Journal of Cleaner Production*, 228 (2019) 974e989. doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.193
- FROSCH, Robert A. Industrial ecology: A philosophical introduction. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, Vol. 89, 800-803, February 1992 Colloquium Paper. <https://www.jstor.org/stable/2358382>
- FUNG, M. K., Christopher A. (2005). An integrated macroeconomic model for assessing urban sustainability. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 32, 639 -656. doi:10.1068/b31113
- GARCÍA-GUAITA, Fernando; et al. Integrating Urban Metabolism, Material Flow Analysis and Life Cycle Assessment in the environmental evaluation of Santiago de Compostel. *Sustainable Cities and Society* 40 (2018) 569–580. doi:10.1016/j.scs.2018.04.027
- GEISSDOERFER, Martin; et al. Business models and supply chains for the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 190 (2018) 712e721. doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.159
- GENOVESE, Andrea; et al. Sustainable supply chain management and the transition towards a circular economy: Evidence and some applications. *Omega*, 66 (2017) 344–357. doi.org/10.1016/j.omega.2015.05.015
- GEORGESCU-ROGEN, N. (2012). O decrescimento: entropia, ecologia, economia. São Paulo: SENAC, 2012.
- GHISELLINI, P. C., Catia; ULGIATI, Sergio. (2016). A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11-32. doi:10.1016/j.jclepro.2015.09.007

- GIL, A. C. (1999). *Métodos e Técnicas de Pesquisa Social* (5 ed.). São Paulo: Atlas, 1999.
- GIMENEZ, Raquel; HERNANTES, Josune; LABAKA, Leire. A maturity model for the involvement of stakeholders in the city resilience building process. *Technological Forecasting & Social Change* 121 (2017) 7–16. doi.org/10.1016/j.techfore.2016.08.001.
- GIRARD, Luigi Fusco; NOCCA, Francesca. Moving Towards the Circular Economy/City Model: Which Tools for Operationalizing This Model?. *Sustainability* 2019, 11, 6253. doi.org/10.3390/su11226253
- GIRARD, Luigi Fusco; NOCCA, Francesca; GRAVAGNUOLO, Antonia. Matera: city of nature, city of culture, city of regeneration: towards a landscape-based and culture-based urban circular economy. *Aestimum*, 74, (2019), 5-42. DOI: 10.13128/aestim-7007.
- GLADEK, Eva, et al. Circular Amsterdam: Spatial Implications. (2017). Disponível em: <https://www.metabolic.nl/projects/circular-amsterdam-spatial-implications/>. Acesso: mai 2019.
- GRAVAGNUOLO, Antonia; ANGRISANO, Mariarosaria; GIRARD, Luigi Fusco. Circular Economy Strategies in Eight Historic Port Cities: Criteria and Indicators Towards a Circular City Assessment Framework. *Sustainability* (2019), 11, 3512. doi.org/10.3390/su11133512
- GOES, Airton. 2021. Capitais estão longe de atingir os objetivos de desenvolvimento sustentável. Programa de cidades sustentáveis. Disponível em: <https://www.cidadessustentaveis.org.br/noticia/3130>. Acesso: abr.2021.
- GOVINDAN, Kannan; HASANAGIC, Mia. (2018). A systematic review on drivers, barriers, and practices towards circular economy: a supply chain perspective. *International Journal of Production Research*. doi/abs/10.1080/00207543.2017.1402141
- GREGSON, N. C., Mike; FULLER, Sara; HOLMES, Helen. (2015). Interrogating the circular economy: the moral economy of resource recovery in the EU. *Economy and Society*, 44(2), 218-243. doi:10.1080/03085147.2015.1013353
- GUE, Ivan Henderson V. Causal network maps of urban circular economies. *Clean Technologies and Environmental Policy* (2022) 24:261–272. <https://doi.org/10.1007/s10098-021-02117-9>.
- GUTIÉRREZ-SALCEDO, M., MARTÍNEZ, M.Á., Moral-Munoz, J.A. et al. Some bibliometric procedures for analyzing and evaluating research fields. *Appl Intell*, 48, 1275–1287 (2018). <https://doi.org/10.1007/s10489-017-1105-y>
- HAAS, W. K., Fridolin; WIEDENHOFER; HEINZ, Markus. (2015). How Circular is the Global Economy? An Assessment of Material Flows, Waste Production, and Recycling in the European Union and the World in 2005. *Journal of Industrial Ecology*, 19(5). doi.org/10.1111/jiec.12244
- HATUKA, Tali; et al. The Political Premises of Contemporary Urban Concepts: The Global City, the Sustainable City, the Resilient City, the Creative City, and the Smart City. *Planning Theory & Practice*, (2018), 19:2, 160-179. <https://doi.org/10.1080/14649357.2018.1455216>.
- HAUPT, Melanie; VADENBO, Carl; HELLWEG, Stefanie. (2016). Do We Have the Right Performance Indicators for the Circular Economy? Insight into the Swiss Waste Management System. *Journal of Industrial Ecology*, Volume 21, Number 3. doi.org/10.1111/jiec.12506
- HENDRIKS, C. O., Richard; MULLER, Daniel; KYTZIA, Susanne; Baccini, PETER; BRUNNER, Paul H. (2000). Material Flow Analysis: A tool to support environmental policy

decision making. Casestudies on the city of Vienna and the Swiss lowlands. *The International Journal of Justice and Sustainability*, 5(3), 311-328. doi:10.1080/13549830050134257

HOBSON, Kersty. Closing the loop or squaring the circle? Locating generative spaces for the circular economy. *Progress in Human Geography*, 2016, Vol. 40(1) 88–104. doi/10.1177/0309132514566342

HOMRICH et al, A. S. (2018). The circular economy umbrella: Trends and gaps on integrating pathways. *Journal of Cleaner Production*, 175, 525-543. doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.064

HORN, Erin; PROKSCH, Gundula. Symbiotic and Regenerative Sustainability Frameworks: Moving Towards Circular City Implementation. In: *Frontiers in Built Environment*, 2022, Volume 7. doi.org/10.3389/fbuil.2021.780478.

HOSSAIN, U.; THOMAS, N. Influence of waste materials on buildings' life cycle environmental impacts: Adopting resource recovery principle. *Resources, Conservation & Recycling*, 142 (2019) 10–23. doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.11.010

HUANG, S.-L. H., Wan-Lin. (2003). Materials flow analysis and emergy evaluation of Taipei's urban construction. *Landscape and Urban Planning*(63), 61-74. doi:10.1016/S0169-2046(02)00152-4

HUANG, Shu-Li; CHEN, Chia-Wen. Urbanization and Socioeconomic Metabolism in Taipei: An Emergy Synthesis. *Journal of Industrial Ecology* (2009) Volume 13, Number 1. doi.org/10.1111/j.1530-9290.2008.00103.x.

HUOVILA, Aapo; et al. Comparative analysis of standardized indicators for Smart sustainable cities: What indicators and standards to use and when?. *Cities*, 89 (2019) 141–153. doi.org/10.1016/j.cities.2019.01.029.

HUYSMAN, Sofie; et al. Performance indicators for a circular economy: A case study on post-industrial plastic waste. *Resources, Conservation and Recycling*, 120 (2017) 46–54. doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.01.013

IBGE. 2017. Classificação e caracterização dos espaços rurais e urbanos do Brasil: uma primeira aproximação / IBGE, Coordenação de Geografia. – Rio de Janeiro: IBGE, 2017. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv100643.pdf> .Acesso: jan. 2021.

ICLEI. 2021. Disponível em: <https://iclei-europe.org/>. Acesso: jan, 2021.

INSTITUTO ECOZINHA. 2018. Disponível em: <https://www.institutoecozinha.org.br/>. Acesso: jan. 2020.

IPEA. 2018. A nova agenda urbana e o Brasil: insumos para sua construção e desafios a sua implementação / organizadores: Marco Aurélio Costa, Marcos Thadeu Queiroz Magalhães, Cesar Bruno Favarão. – Brasília: Ipea, 2018. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=33345. Acesso: jan. 2021.

ISTO É. Investigado por fraude bilionária, Recicla BR montou 'império' da reciclagem. Disponível em: <https://istoe.com.br/investigado-por-fraude-bilionaria-recicla-br-montou-imperio-da-reciclagem-2/>. Acesso: jul. 2022.

ITOIZA, E. S. G., Carles M.; RIERADEVALLA, Joan; GABARRELL, Xavier. (2014). Environmental consequences of recycling aluminum old scrap in a global market. *Resources, Conservation and Recycling*, 89, 94-103. doi:10.1016/j.resconrec.2014.05.002

- JIANG, Zhigang; et al. A hybrid approach of rough set and case-based reasoning to remanufacturing process planning. *J Intell Manuf* (2019) 30:19–32. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10845-016-1231-0>
- JONG, Martin de; et al. Eco city development in China: addressing the policy implementation challenge. *Journal of Cleaner Production* 134 (2016) 31- 41. doi:10.1016/J.JCLEPRO.2016.03.083.
- JONG, Martin de; et al. Sustainable - smart - resilient - low carbon - eco - knowledge cities: making sense of a multitude of concepts promoting sustainable. urbanization. *Journal of Cleaner Production*, 109 (2015) 25-38. doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.004.
- KABISCH, Nadja; et al. Nature-based solutions to climate change mitigation and adaptation in urban areas: perspectives on indicators, knowledge gaps, barriers, and opportunities for action. *Ecology and Society*, 21(2):39. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5751/ES-08373-210239>.
- KACPRZAK, Małgorzata; et al. Sewage sludge disposal strategies for sustainable development. *Environmental Research*, 156 (2017) 39–46. doi.org/10.1016/j.envres.2017.03.010
- KALMYKOVA, Yuliya; ROSADO, Leonardo; PATRICÍO, João. (2016). Resource consumption drivers and pathways to reduction: economy, policy and lifestyle impact on material flows at the national and urban scale. *Journal of Cleaner Production*, 132 (2016) 70 - 80. doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.027.
- KALMYKOVA, Y.; et al. (2016). Resource consumption drivers and pathways to reduction: economy, policy and lifestyle impact on material flows at the national and urban scale. *Journal of Cleaner Production*. doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.027
- KALMYKOVA, Y.; SADAGOPAN, Madumita; ROSADO, Leonanrdo. Circular economy – From review of theories and practices to development of implementation tools. *Resources, Conservation & Recycling*, 135 (2018) 190–201. doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.034
- KAZA, Silpa; et al. In: Urban Development Series. Waste 2.0: a snapshot of solid waste management to 2050. World Bank Group, 2018. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>. Acesso: mai. 2020.
- KENNEDY, C. C., John; ENGEL-YAN, Joshua. (2007). The Changing Metabolism of Cities. *Journal of Industrial Ecology*, 2(11), 43-59. doi:10.1162/jie.2007.1107
- KENNEDY, Christopher; HOORNWEG, Daniel. (2012). Mainstreaming Urban Metabolism. *Journal of Industrial Ecology*, Volume 16, Number 6. doi.org/10.1111/j.1530-9290.2012.00548.x.
- KENNEDY, Chris; et al. Developing a multi-layered indicators for urban metabolism studies in megacities. *Ecological Indicators* 47 (2014) 7–15. DOI:10.1016/J.ECOLIND.2014.07.039.
- KENNEDY, Christopher A. Energy and material flows of megacities. *PNAS* (2015), 112 (19), 5985-5990. doi.org/10.1073/pnas.1504315112.
- KENWORTHY, Jeffrey R. The eco-city: ten key transport and planning dimensions for sustainable city development. Environment & Urbanization Copyright 2006 International Institute for Environment and Development (IIED). 67 Vol 18(1): 67–85. doi:10.1177/0956247806063947.
- KLITGAARD, K. (2013). Heterodox Political Economy and the Degrowth Perspective. *Sustainability*, 5 (1): 276-297. doi.org/10.3390/su5010276.

- KIRCHHERR, J. R., Denise; HEKKERT, Marko. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation & Recycling*, 127, 221–232. doi: 10.1016/j.resconrec.2017.09.005
- KIRCHHERR, Julian; et al. Barriers to the Circular Economy: Evidence From the European Union (EU). *Ecological Economics*, 150 (2018) 264–272. doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.04.028
- KJAER, Louise Laumann. (2018) Product/Service-Systems for a Circular Economy The Route to Decoupling Economic Growth from Resource Consumption? *Journal of Industrial Ecology*, Volume 23, Number 1. doi.org/10.1111/jiec.12747
- KORHONEN, Jouni; HONKASALO, Antero; SEPPÄLÄ, Jyri. Circular Economy: The Concept and its Limitations. *Ecological Economics* 143 (2018) 37–46. doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041
- KROTGER, G. P., Jiirgen; UFERMANN, Kay (1999). Environmental Accounting on a Communal Level: A Tool to Support Environmental Management and Decision-Making by Communal Executives. *Environmental Management Strategies*, 170-174. doi:10.1007/BF02987622
- KRYSOVATYY, Andry; ZVARYCH, Iryna; ZVARYCH, Roman. (2018). Circular economy in the context of alterglobalization. *Journal of International Studies*, 11(4), 185 - 200. doi:10.14254/2071-8330.2018/11-4/13.
- LABAKA, Leire; et al. Defining the roadmap towards city resilience. *Technological Forecasting & Social Change* 146 (2019) 281–296. doi:10.1016/j.techfore.2019.05.019.
- LAKATOS, Elena Simina; et al. Conceptualizing Core Aspects on Circular Economy in Cities. *Sustainability*, 2021, 13, 7549. doi.org/10.3390/su13147549.
- LANGERGRABER, Guenter; et al. A Framework for Addressing Circularity Challenges in Cities with Nature-Based Solutions. In: *Water* (2021), 13, 2355. doi.org/10.3390/w13172355.
- LAUGENI, F. M., Petrônio Garcia. (2015). *Administração da Produção* (3 ed.). São Paulo: Saraiva.
- LAVERS, Alexandra; et al. Selecting representative products for quantifying environmental impacts of consumption in urban areas. *Journal of Cleaner Production* 162 (2017) 34-44. doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.030.
- LEHMANN, Steffen. Optimizing Urban Material Flows and Waste Streams in Urban Development through Principles of Zero Waste and Sustainable Consumption. *Sustainability* (2011), 3, 155-183. doi.org/10.3390/su3010155.
- LEI, S. Y., Qian. (2004). Strategy and Mechanism Study for Promotion of Circular Economy in China. *Chinese Journal of Population Resources and Environment*, 2(1), 5-8. doi:10.1080/10042857.2004.10677341
- LI, N. Z., Tianzhu, LIANG, Sai. (2013). Reutilisation-extended material flows and circular economy in China. *Waste Management*, 33, 1552-1560. doi:10.1016/j.wasman.2013.01.029
- LI, Yinghao; ET AL. The Tianjin Eco-City model in the academic literature on urban sustainability. *Journal of Cleaner Production* 213 (2019) 59-74. doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.018.

- LIANG, Sai; ZHANG, Tianzhu. Data Acquisition for Applying Physical Input-Output Tables in Chinese Cities: the Case of Suzhou. (2011 a) *Journal of Industrial Ecology*, 15, Number 6. doi/abs/10.1111/j.1530-9290.2011.00372.x.
- LIANG, Sai; ZHANG, Tianzhu. Comparing urban solid waste recycling from the viewpoint of urban metabolism based on physical input–output model: A case of Suzhou in China (2011 b). *Waste Management* 32 (2012) 220–225. doi: 10.1016/j.wasman.2011.08.018.
- LIFSET, R. G. T. E. (2002). Industrial ecology: goals and definitions. In R. U. A. AYRES, I. W. (Ed.), *A handbook of industrial ecology* (pp. 3-15). Massachusetts: Edward Elgar Publishing Limited.
- LIN, Zhongjie. Ecological urbanism in East Asia: A comparative assessment of two eco-cities in Japan and China. *Landscape and Urban Planning* 179 (2018) 90–102. doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.07.008.
- LINDER, Marcus; WILLIANDER, Mats. Circular Business Model Innovation: Inherent Uncertainties. *Business Strategy and the Environment Bus. Strat. Env.* 26, 182–196 (2017). doi.org/10.1002/bse.1906
- LIU, Wei; QIN, Bo. Low-carbon city initiatives in China: A review from the policy paradigm perspective. *Cities* 51 (2016) 131–138. doi.org/10.1016/j.cities.2015.11.010.
- MACLAREN, V. W. (1996). Urban sustainability reporting. *J. Am. Plan. Assoc.* 62, 184–202. doi: 10.1080/01944369608975684
- MACROTRENDS. Disponível em: <https://www.macrotrends.net/cities/21930/amsterdam/population>. Acesso: mar. 2021.
- MALINAUSKAITE, J.; et al. Municipal solid waste management and waste-to-energy in the context of a circular economy and energy recycling in Europe. *Energy* 141 (2017) 2013 e 2044. doi.org/10.1016/j.energy.2017.11.128.
- MARIN, Julie; MEULDER, Bruno de. Interpreting Circularity: Circular City Representations Concealing Transition Drivers. *Sustainability* (2018), 10, 1310. <https://doi.org/10.3390/su10051310>.
- MARTINS, Petrônio Garcia; ALT, Paulo Renato. *Administração de Materiais e Recursos Patrimoniais*. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2006.
- MATAMANDA, Abraham R. Battling the informal settlement challenge through sustainable city framework: experiences and lessons from Harare, Zimbabwe. *Development Southern Africa* (2020), 37, n. 2, 217–231. doi.org/10.1080/0376835X.2019.1572495.
- MAYER, Andreas; et al. Measuring Progress towards a Circular Economy: a Monitoring Framework for Economy-wide Material Loop Closing in the EU28. *Journal of Industrial Ecology*, Volume 23, Number 1 (2018) 62 - 76. doi.org/10.1111/jiec.12809
- MEIJERING, Jurian V.; et al. Identifying the methodological characteristics of European green cityrankings. *Ecological Indicators* 43 (2014) 132–142. DOI:10.1016/j.ecolind.2014.02.026.
- METABOLISM OF CITIES. 2020. Disponível em: <https://metabolismofcities.org/about/services>. Acesso: ago. 2020.
- MISHENIN, Yevhen; et al. Sustainable regional development policy formation: role of industrial ecology and logistics. *The International Journal Entrepreneurship and Sustainability Issues*. (2018) Volume 6 Number 1. doi: 10.9770/jesi.2018.6.1(20)

- MMA. Ministério do Meio Ambiente. 2017. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/gest%C3%A3o-de-res%C3%ADduos-org%C3%A2nicos.html>. Acesso: abr. 2019
- MORAGA, Gustavo; et al. Circular economy indicators: What do they measure? *Resources, Conservation & Recycling* 146 (2019) 452–461. doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.03.045
- MORENO, M. R., Carolina De los; ROWE, Zoe; CHARNLEY, Fiona. (2016). A Conceptual Framework for Circular Design. *Sustainability*, 8, 937. doi.org/10.3390/su8090937
- MURRAY, Alan; SKENE, Keith; HAYNES, Kathryn. The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context. *J Bus Ethics* (2017) 140:369–380. doi.org/10.3390/su8090937
- NASIR, Mohammed Haneef Abdul; et al. Comparing linear and circular supply chains: A case study from the construction industry. *Production Economics*, 183(2017) 443–457. doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.06.008.
- NBR ISO 14040. Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2001. Disponível em: <http://licenciadorambiental.com.br>. Acesso: dez. 2021.
- NEWCOMBE, K. K., Jetse D. ; ASTON, Alan R. (1978). The Metabolism of a City: The Case of Hong Kong. *Ambio* (3), 3-15. <https://www.jstor.org/stable/4312330>.
- NEWELL, J P.; COUSINS, Joshua J. The boundaries of urban metabolism: Towards a political–industrial ecology. *Progress in Human Geography* (2015), Vol. 39(6) 702–728. doi.org/10.1177/0309132514558442.
- NGUYEN, Thinh An; et al. Toward a sustainable city of tomorrow: a hybrid Markov–Cellular Automata modeling for urban landscape evolution in the Hanoi city (Vietnam) during 1990–2030. *Environ Dev Sustain* (2019) 21:429–446. <https://doi.org/10.1007/s10668-017-0046-2>.
- NIERO, Monia; KALBAR, Pradip P. Coupling material circularity indicators and life cycle based indicators: A proposal to advance the assessment of circular economy strategies at the product level. *Resources, Conservation & Recycling*, 140 (2019) 305–312. doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.10.002
- NIZA, S. R., Leonardo; FERRÃO, Paulo. (2009). Methodological Advances in Urban Material Flow Accounting Based on the Lisbon Case Study. *Journal of Industrial Ecology* (13), 384-405. doi:10.1111/j.1530-9290.2009.00130.x.
- NOVELIS. 2020. Disponível em: <https://pt-br.novelis.com/>. Acesso: out. 2020.
- NUA. New Urban Agenda. 2017. Disponível em: <http://habitat3.org/the-new-urban-agenda/>. Acesso: jan.2020.
- OCDE. Manual de Oslo: proposta de diretrizes para coleta e interpretação de dados sobre inovação tecnológica. Organização para cooperação econômica e desenvolvimento. 1997. Disponível em: http://www.finep.gov.br/images/a-finep/biblioteca/manual_de_oslo.pdf. Acesso: nov. 2019.
- OCDE. The Post-COVID-19 Circular Economy: Transitioning to Sustainable Consumption and Production in Cities and Regions. 2020. Disponível em: <https://www.urban20riyadh.org/sites/default/files/2020-09/SustainableConsumptionandProduction.pdf>. Acesso: fev. 2021.

- ODUM, H. T. (1996). *Environmental Accounting: Emery and Environmental Decision Making*. New York, USA: John Wiley and Sons.
- ODUM, E. P. (1953). *Fundamentals of Ecology*. London: W. B. Saunders Company.
- OECD. MEASURING MATERIAL FLOWS AND RESOURCE PRODUCTIVITY Volume I. The OECD Guide. 2008. Disponível em: <https://www.oecd.org/environment/indicators-modelling-outlooks/MFA-Guide.pdf>. Acesso: abr 2020.
- OHNISHI, Satoshi; et al. Efficient energy recovery through a combination of waste-to-energy systems for a low-carbon city. *Resources, Conservation and Recycling* 128 (2018) 394–405. doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.11.018.
- OLSEN, S. (1982). Urban Metabolism and Morphogenesis. *Urban Geography*, 3:2, 87-109. doi:10.2747/0272-3638.3.2.87
- ONU. (2015). *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. Disponível em: http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E. Acesso: out. 2018.
- ONU. (2018). *The state of plastics: World Environment Day Outlook 2018* Retrieved from https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/25513/state_plastics_WED.pdf?isAllowed=y&sequence=1. Acesso: out. 2019.
- ONU. The world's cities: data booklet. Disponível em: https://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/urbanization/the_world_s_cities_in_2016_data_booklet.pdf. Acesso: abr. 2019.
- ONU. The world's cities in 2018: data booklet. Disponível em: https://www.un.org/en/events/citiesday/assets/pdf/the_worlds_cities_in_2018_data_booklet.pdf. Acesso: abr. 2019.
- ONU. (2020). Humanidade produz mais de 2 bilhões de toneladas de lixo por ano. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/humanidade-produz-mais-de-2-bilhoes-de-toneladas-de-lixo-por-ano-diz-onu-em-dia-mundial/>. Acesso: mai. 2020.
- OSTERWALDER, Alexander; PIGNEUR, Yves. *Business Model Generation*. New Jersey: John Wiley & Sons, 2010. Disponível em <http://brazil.enactusglobal.org/wp-content/uploads/sites/2/2017/01/Business-Model-Generation.pdf>. Acesso: jul. 2020.
- PAIHO, Satu; et al. Towards circular cities—Conceptualizing core aspects. *Sustainable Cities and Society*, 59 (2020) 102-143. DOI:10.1016/j.scs.2020.102143.
- PAN, Ane; et al. Assessment on the coordinated development oriented to Green City in China. *Ecological Indicators*, 116 (2020) 106486. doi:10.1016/j.ecolind.2020.106486.
- PINCETL, Stephanie. Nature, urban development and sustainability: What new elements are needed for a more comprehensive understanding? *Cities*, 29 (2012) S32–S37. doi:10.1016/j.cities.2012.06.009.
- PINCETL, Stephanie; BUNJE, Paul; HOLMES, Tisha. An expanded urban metabolism method: Toward a systems approach for assessing urban energy processes and causes. *Land, scape and Urban Planning* 107 (2012) 193– 202. DOI:10.1016/j.landurbplan.2012.06.006.
- PINCETL, Stephanie. Nature, urban development and sustainability: What new elements are needed for a more comprehensive understanding? *Cities*, 29 (2012) S32–S37. doi.org/10.1016/j.cities.2012.06.009.

- POMPONI, Francesco; MONCASTER, Alice. Circular economy for the built environment: A research framework. *Journal of Cleaner Production*, 143 (2017) 710 e 718. doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.055.
- PREFEITURA DE PARIS. (2017). Planejamento de Economia Circular em Paris 2017-2020: primeiro roadmap. Disponível em: <https://cdn.paris.fr/paris/2019/07/24/38de2f4891329bbaf04585ced5fbdf0f.pdf>. Acesso: abr. 2021.
- PRENDEVILLE, Sharon; CHERIM, Emma; BOCKEN, Nancy. (2017). Circular cities: Mapping six cities in transition. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 26, 171–194. doi.org/10.1016/j.eist.2017.03.002.
- PROGRAMA CIDADES SUSTENTÁVEIS. 2021. Disponível em: <https://www.cidadessustentaveis.org.br/institucional/pagina/cidades-signatarias>. Acesso: abr. 2021.
- RANTA, Valtteri; et al. Exploring institutional drivers and barriers of the circular economy: A crossregional comparison of China, the US, and Europe. *Resources, Conservation & Recycling*, 135 (2018) 70–82. doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.017
- RECICLA BR. 2022. Disponível em: <https://gruporeciclabr.com.br/>. Acesso: nov. 2021.
- REDE EUROPEIA CIRCULAR. 2021. Disponível em: <https://www.circular-europe-network.eu/>. Acesso: jan. 2021.
- REIS, Dálcio Roberto dos. *Gestão da Inovação Tecnológica*. 2 ed. São Paulo: Manole, 2008.
- REES, William E. Ecological footprints and appropriated carrying capacity: What urban economics leaves out. *Environmental and Urbanization*, vol. 4, n. 2, 1992. Doi 10.1177/095624789200400212
- RESS, W. (1997). Urban ecosystems: the human dimension. *Urban Ecosystems*, 1, 63-75. doi:10.1023/A:1014380105620.
- REVISTA ALUMÍNIO. 2020. Disponível em: <https://revistaaluminio.com.br/>. Acesso: set. 2020.
- RIOS, Irel Carolina De los; CHARNLEY, J. S. Fiona. Skills and capabilities for a sustainable and circular economy: The changing role of design. *Journal of Cleaner Production*, 160 (2017) 109 e 122. doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.130
- RIZO, Vasileios; et al. Implementation of Circular Economy Business Models by Small and Medium-Sized Enterprises (SMEs): Barriers and Enablers. *Sustainability*, 2016, 8, 1212. doi.org/10.3390/su8111212
- ROCHA, A. d. F., Jorge Brantes; SILVA, Jorge Ferreira. (2012). *Administração de Marketing*. São Paulo: Atlas.
- ROSELAND, Mark. Dimensions of the eco-city. *Cities*, vol. 14, No. 4, pp. 197-202, 1997. doi.org/10.1016/S0264-2751(97)00003-6.
- SACHS, Ignacy. *Desenvolvimento incluyente, sustentável e sustentado*. Rio de Janeiro: Garamond, 2008.
- SAHELY, H. R. D., Shauna; KENNEDY, Christopher. (2003). Estimating the urban metabolism of Canadian cities: Greater Toronto Area case study. *Can. J. Civ. Eng.*(30), 468–483. doi:10.1139/L02-105

- SALVADOR, Mariana Sanchez. Shaping the city through food: the historic foodscape of Lisbon as case study. *Urban Design International*, (2019), 24 (4). DOI:10.1057/s41289-019-00084-8.
- SARKIS, J. Z., Hanmin; ZHU. (2008). Information technology and systems in China's circular economy: Implications for sustainability. *Journal of Systems and Information Technology*, 10, 201-217. doi:10.1108/13287260810916916
- SAUVÉ, S. B., Sophie; SLOAN, Pamela. (2016). Environmental sciences, sustainable development and circular economy: alternative concepts for trans-disciplinary research. *Environmental Development*, 17, 48–56. doi:10.1016/j.envdev.2015.09.002
- SCARPELLINI, Sabina; et al (2019). Definition and measurement of the circular economy's regional impact. *Journal of Environmental Planning and Management*. doi.org/10.1080/09640568.2018.1537974
- SCHEEPENS, A. E. B., Vogtlander. (2016). 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*, 114, 257-268. doi:10.1016/j.jclepro.2015.05.075
- SHEN, Liyin; et al. Analysis on the evolution of low carbon city from process characteristic perspective. *Journal of Cleaner Production*, 187 (2018) 348-360. doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.190.
- SCHROEDER, Patrick; ANGGRAENI, Kartika; WEBE, Uwe. (2018). The Relevance of Circular Economy Practices to the Sustainable Development Goals. *Journal of Industrial Ecology*. Volume 23, Number 1. doi.org/10.1111/jiec.12732
- SEHNEM, Simone; et al. Circular economy: benefits, impacts and overlapping. *Supply Chain Management: An International Journal*, 24/6 (2019) 784–804. doi: 10.1108/SCM-06-2018-0213
- SEHNEM, Simone; et al. Megatrends in Circular Economy: Avenues for Relevant. doi10.1007/s43615-021-00036-x
- Advancements in Organizations. *Circular Economy and Sustainability* (2021) 1:173–208. doi: 10.1007/s43615-021-00036-x
- SILVA, José Afonso da. *Direito Urbanístico Brasileiro*. São Paulo: Malheiros, 2006.
- SILVA, Sandro Pereira. A organização coletiva de catadores de material reciclável no Brasil: dilemas e potencialidades sob a ótica da economia solidária . IPEA: 2016. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=292712017 . Acesso: mai. 2022
- SODIQ, Ahmed; et al. Towards modern sustainable cities: Review of sustainability principles and trends. *Journal of Cleaner Production*. 227 (2019) 972-1001. doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.106.
- SONG, Yinan; et al. Nature based solutions for contaminated land remediation and brownfield redevelopment in cities: A review. *Science of the Total Environment*, 663 (2019) 568–579. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.01.347.
- SPAANS, Marjolein; WATERHOUT, Bas. Building up resilience in cities worldwide – Rotterdam as participant in the 100 Resilient Cities Programme. *Cities*, 61 (2017) 109–116. doi.org/10.1016/j.cities.2016.05.011.

- STATISTA (2020). <https://www.statista.com/statistics/1055604/key-figures-glass-recycling-globally/#:~:text=As%20of%202018%2C%20the%20glass,32%20percent%20of%20waste%20recycled>. Acesso: out. 2020.
- STEPHAN André; ATHANASSIADIS, Aristide. Towards a more circular construction sector: Estimating and spatialising current and future non-structural material replacement flows to maintain urban building stocks. *Resources, Conservation & Recycling*, 129 (2018) 248–262. doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.022.
- STREBEL, H. P., Alfred. (2004). Interorganisational cooperation for sustainable management in industry: on industrial recycling networks and sustainability networks. *Progress in Industrial Ecology*, 1(4), 348-362. doi:10.1504/PIE.2004.005841
- SUN, Lu; et al. Eco-benefits assessment on urban industrial symbiosis based on material flows analysis and emergy evaluation approach: A case of Liuzhou city, China. *Resources, Conservation and Recycling*, 119 (2017) 78–88. doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.06.007
- TAN, Sieting; et al. A holistic low carbon city indicator framework for sustainable development. *Applied Energy*, 185 (2017) 1919–1930. doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.03.041.
- TANIKAWA, H. H., Seiji. (2009). Urban stock over time: spatial material stock analysis using 4d-GIS. *Building Research & Information*, 5-6(37), 483–502. doi:10.1111/j.1530-9290.2009.00169.x
- TINGLEY, Danielle Densley; COOPER, Simone; CULLEN, Jonathan. Understanding and overcoming the barriers to structural steel reuse, a UK perspective. *Journal of Cleaner Production*, 148 (2017) 642e652. doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.006
- TOLI, Angeliki Maria; MURTAGH, Niamh. The Concept of Sustainability in Smart City Definitions. *Frontiers in Built Environment*, 2020, v. 6, 77. doi: 10.3389/fbuil.2020.00077
- TOZER, Laura; et al. Whose city? Whose nature? Towards inclusive nature-based solution governance. *Cities* 107 (2020) 102892. doi.org/10.1016/j.cities.2020.102892.
- TSAI, Feng Ming; et al. A causal municipal solid waste management model for sustainable cities in Vietnam under uncertainty: a comparison. *Resources, Conservation & Recycling*, 154 (2020) 104599. doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104599.
- TURA, Nina; et al. Unlocking circular business: A framework of barriers and drivers. *Journal of Cleaner Production*, 212 (2019) 90 a 98. doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.202.
- UN HABITAT. The Evolution of national urban policies: a global overview. 2014. Disponível em: https://unhabitat.org/sites/default/files/2020/05/sustainable_cities_consultation_results_report.pdf. Acesso: mai. 2020.
- UN HABITAT. Sustainable cities consultation: Results Report on the perception of almost 10,000 Brazilians about cities sustainable development. 2019. Disponível em: https://unhabitat.org/sites/default/files/2020/05/sustainable_cities_consultation_results_report.pdf. Acesso: mai. 2020.
- UNEP. United Nations Environmental Programme. (2018) The Weight of cities: resource requirements of future urbanization. https://www.resourcepanel.org/sites/default/files/documents/document/media/the_weight_of_cities_full_report_english.pdf. Acesso: 28 jul 2020.

- UNESP. *Manual da Biblioteca Professor Paulo de Carvalho Matos: tipos de revisão de literatura*. São Paulo: UNESP, 2015. Disponível em: <https://www.fca.unesp.br/Home/Biblioteca/tipos-de-evisao-de-literatura.pdf>. Acesso: jun. 2019.
- UNIDO. United Nations Industrial Development Organization. Development of recycling industries within the UNIDO circular economy approach. 2018. Disponível em: <https://www.unido.org/our-focus-cross-cutting-services/circular-economy>. Acesso: ago. 2020.
- UNIDO. United Nations Industrial Development Organization. Industrial Resource Efficiency Division and circular economy. 2019. Disponível em: <https://www.unido.org/our-focus-cross-cutting-services/circular-economy>. Acesso: ago. 2020.
- UNISDR. How to Make Cities More Resilient: A Handbook for Local Government Leaders. Geneva: United Nations, 2012. Disponível em: https://www.unisdr.org/files/26462_handbookfinalonlineversion.pdf. Acesso: 6 mai 2019.
- UNITED NATIONS. Committee for Development Policy. Global governance and global rules for development in the post-2015 era. 2014. Disponível em: <https://www.un.org/development/desa/dpad/publication/cdp-policy-note-2014/>. Acesso em: dez. 2019.
- VAN WEELDEN, E. M., Ruth; BAKKER, Conny. (2016). Paving the way towards circular consumption: exploring consumer acceptance of refurbished mobile phones in the Dutch market. *Journal of Cleaner Production*, 113, 743-754. doi:10.1016/j.jclepro.2015.11.065.
- VAN DER HOEK, J. P.; et al. (2015). Amsterdam as a sustainable European metropolis: integration of water, energy and material flows. *Urban Water Journal*. doi.org/10.1080/1573062X.2015.1076858.
- VEIGA, José Eli. Para entender desenvolvimento sustentável. São Paulo: Editora 34, 2015.
- VEIGA, Rosângela Mendanha da. Do lixo à economia circular: um salto possível? 25/06/2019 418 f. Doutorado em GEOGRAFIA Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, Uberlândia Biblioteca Depositária: BIBLIOTECA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA. <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/26702>
- VOSKAMP, I. M.; et al. (2016). Enhanced Performance of the Eurostat Method for Comprehensive Assessment of Urban Metabolisms: a material flow analysis of Amsterdam. *Journal of Industrial Ecology*, Vol. 21, Number 4. doi.org/10.1111/jiec.12461.
- VOSKAMP, Ilse M.; et al. Space-time information analysis for resource-conscious urban planning and design: a stakeholder based identification of urban metabolism data gaps. *Resources, Conservation and Recycling*, 128 (2018) 516–525. doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.08.026.
- WANG, Yacan; HANZEN, Benjamin T. Consumer product knowledge and intention to purchase remanufactured products. *Int. J. Production Economics*, 181 (2016) 460–469. doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.08.031.
- WCED. Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future(1985). <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>
- WEN, Z. M., Xiaoyan. (2015). Quantitative assessment of industrial symbiosis for the promotion of circular economy: a case study of the printed circuit boards industry in China's

- Suzhou New District. *Journal of Cleaner Production*, 90, 211-219. doi:10.1016/j.jclepro.2014.03.041
- WESTIN, Alexandra Lavers; et al. Combining material flow analysis with life cycle assessment to identify environmental hotspots of urban consumption. *Journal of Cleaner Production*, 226 (2019) 526e539. doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.036.
- WILLIAMS, Joanna. Can low carbon city experiments transform the development regime?. *Futures*, 77 (2016) 80–96. doi.org/10.1016/j.futures.2016.02.003.
- WILLIAMS, Joanna. Circular Cities: Strategies, Challenges and Knowledge Gaps; Circular Cities Hub, UCL: London, UK, 2017. Disponível em: <http://circularcitieshub.com/wp-content/uploads/2017/06/Circular-Cities-Strategies-Challenges-and-Knowledge-Gaps-Page.pdf>. Acesso: jul. 2019.
- WILLIAMS, Joanna. The Circular Regeneration of a Seaport. *Sustainability* (2019a), 11, 3424. doi.org/10.3390/su11123424.
- WILLIAMS, Joanna. Circular cities. *Urban Studies*, 2019b, Vol. 56(13) 2746–2762. Disponível em: doi.org/10.1177/0042098018806133.
- WILLIAMS, Joanna. Circular Cities: Challenges to Implementing Looping Actions. *Sustainability*, (2019c), 11 (2), 423. doi.org/10.3390/su11020423.
- WINKLER, H. (2011). Closed-loop production systems—A sustainable supply chain approach. *Journal of Manufacturing Science and Technology*, 4, 243-246. doi:10.1016/j.cirpj.2011.05.001
- WITJES, S. L., Rodrigo. (2016). Towards a more Circular Economy: Proposing a framework linking sustainable public procurement and sustainable business models. *Resources, Conservation and Recycling*, 112. doi:10.1016/j.jclepro.2015.02.027
- WOHLIN, C. (2014). Guidelines for snowballing in systematic literature studies and a replication in software engineering. In: Proceedings of the 18th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering. Art. 38, p. 1-10. <https://doi.org/10.1145/2601248.2601268>
- WOLMAN, A. (1965). The metabolism of cities. *Scientific American*, 213(3), 179-188. doi: 10.1038/scientificamerican0965-178.
- WORLD ALUMINIUM a. 2020. Disponível em: https://www.world-aluminium.org/media/filer_public/2020/08/28/2019_anode_effect_survey_result_2020.pdf. Results of the 2019 Anode Effect Survey. Acesso: nov. 2020.
- WORLD ALUMINIUM. 2020. Aluminium recycling: by The International Aluminium Institute. Disponível em: https://www.world-aluminium.org/media/filer_public/2020/10/20/wa_factsheet_final.pdf. Acesso: nov. 2020.
- WU, Hua-qing; et al. Effectiveness of the policy of circular economy in China: A DEA-based analysis for the period of 11th five-year-plan. *Resources, Conservation and Recycling*, 83 (2014) 163– 175. doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.10.003
- WU, Ya; et al. A new experience mining approach for improving low carbon city development. *Sustainable Development*, (2020), 28, 922-934. doi.org/10.1002/sd.2046.
- WUBBEKE, J. W. H., Timo. (2014). Challenges and political solutions for steel recycling in China. *Resources, Conservation and Recycling*, 87, 1-7. doi:10.1016/j.resconrec.2014.03.004

WWF. Relatório 2019: Solucionar a poluição plástica, transparência e responsabilização. Disponível em: <http://promo.wwf.org.br/solucionar-a-poluicao-plastica-transparencia-e-responsabilizacao>. Acesso: out. 2020

YALÇIN, Timothy J. ; FOXON, Timothy J. A systemic approach to transitions towards circular economy: The case of Brighton and Hove. In: *A Cleaner Environmental Systems*, 3 (2021). doi.org/10.1016/j.cesys.2021.100038.

YONG, R. (2007). The circular economy in China. *J Mater Cycles Waste Manag*, 9, 121-129. doi:10.1007/s10163-007-0183-z.

ZHAO, Zhen-Yu; et al. How national policies facilitate low carbon city development: A China study. How national policies facilitate low carbon city development: A China study. *Journal of Cleaner Production*, 234 (2019) 743-754. doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.116.

ZHOU, Guanghong; et al. Evaluating low-carbon city initiatives from the DPSIR framework perspective. *Habitat International* 50 (2015) 289-299. doi.org/10.1016/j.habitatint.2015.09.001.

ZELLER, Vanessa; et al. (2018). Urban waste flows and their potential for a circular economy model at city-region level. *Waste Management*, 83 (2018) 83–94. doi.org/10.1016/j.wasman.2018.10.034.

ZHANG, Y. Y., Zhifeng; YUB, Xiangyi. (2006). Measurement and evaluation of interactions in complex urban ecosystem. *Ecological Modelling*, 196, 77-89. doi:https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.02.001

ZHANG; YANGA, Z. Y., Xiangyi. (2009). Ecological network and emergy analysis of urban metabolic systems: Model development, and a case study of four Chinese cities. *Ecological Modelling* (220), 1431–1442. doi:10.1016/j.ecolmodel.2009.02.001

ZHOU, Guanghong; et al. Evaluating low-carbon city initiatives from the DPSIR framework perspective. *Habitat International*, 50 (2015) 289-299. doi.org/10.1016/j.habitatint.2015.09.001.

ZHU, Q. G., Yong; LAI, Kee-hung. (2011). Environmental Supply Chain Cooperation and Its Effect on the Circular Economy Practice-Performance Relationship Among Chinese Manufacturers. *Journal of Industrial Ecology*, 15(3), 401-419. doi:10.1111/j.1530-9290.2011.00329.x

ZINK, Trevos; GEYER, Roland. (2017) Circular Economy Rebound. *Journal of Industrial Ecology*, Volume 21, Number 3. doi.org/10.1111/jiec.12545.

GLOSSÁRIO

Abordagens teóricas não lineares – abordagens que oferecem caminhos opostos à economia linear, tais como logística reversa, berço ao berço e economia circular, entre outros (ELABORAÇÃO PRÓPRIA, 2022).

Berço ao berço – abordagem teórica não linear que pressupõem o retorno do material à economia após o fim de vida do material ou do componente (ELABORAÇÃO PRÓPRIA, 2022). Conceito de design para implementar ideias de ecologia industrial, criando produtos que permitem uso infinito e de qualidade de materiais em ciclos, facilitando a desmontagem, adaptação, reutilização, remanufatura e reciclagem (MCDONOUGH e BRAUNGART, 2002 *apud* SEHNEM et al, 2019).

Berço-ao-túmulo – sistema linear onde o berço é a extração do recurso e o túmulo é o depósito do resíduo na natureza, nele, o material é descartado após o fim de vida do produto ou componente (ELABORAÇÃO PRÓPRIA, 2022).

Bola de neve - técnica de escolha de publicações para construção de revisão bibliográfica onde se utiliza as referências ou as citações de um artigo para identificar artigos adicionais que podem vir a integrar a revisão de literatura em construção (WOHLIN, 2014).

Canva – Metodologia elaborada por OSTERWALDER e PIGNEUR (2010) que resume em um quadro os principais elementos estruturantes de um projeto.

Canva de projetos/programas de economia circular – estrutura elaborada nesta tese com base em OECD (1997) e OSTERWALDER e PIGNEUR (2010), com vistas a apresentar em um quadro resumido os principais requisitos para projetos e programas de transição para a economia circular (Elaboração própria, 2022).

Ciclagem – termo usado nesta tese para se referir a recursos que passaram por algum dos seguintes princípios da estrutura R da economia circular: reutilizar, reformar, remanufaturar, reaproveitar, reciclar e recuperar (ELABORAÇÃO PRÓPRIA, 2022).

Ciclo de vida – etapas executivas e interrelacionadas de um sistema de produto desde o projeto de produto e aquisição de matérias-primas até a disposição final dos recursos nele contido quando do fim de vida (CALDEIRA-PIRES et al, 2005).

Ciclo de vida estendido – estender a sua vida útil (*design for product life extension*) por meio de intervenções como reparos, remanufatura ou facilidade de receber atualização (*upgrades*); isso resulta na desaceleração do fluxo de recursos (GHISELLINI et al, 2016).

Ciclo de vida prolongado – Os ciclos de prolongamento de vida útil se referem a materiais e componentes do produto. Nos ciclos de prolongamento são aplicadas estratégias relacionadas aos princípios de remanufaturar (usar os componentes para fazer produtos comparáveis) e reaproveitar (usar os componentes para fazer produto com função diferente). Os ciclos de prolongamento podem ser feitos no nível do próprio usuário do produto ou no nível de um prestador de serviço (negócio circular) (ELABORAÇÃO PRÓPRIA).

Ciclos vagarosos - Modelos de negócios e projetos de produtos para ciclos vagarosos buscam fazer com que o produto tenha durabilidade (*design for product long life*) ou estender a sua vida útil (*design for product life extension*) por meio de intervenções como reparos, remanufatura ou facilidade de receber atualização (*upgrades*); isso resulta na desaceleração do fluxo de recursos. Negócios que atuam em ciclo (GHISELLINI et al, 2016).

Ciclo fechado - Sistema de processo logístico que combina logística reversa e logística a prazo (compras, produção e distribuição) com foco na redução do uso de matéria-prima e geração de resíduos por meio do tratamento efluentes e devolvê-los para reutilização e/ou aumentar a durabilidade dos produtos. Evita jogar fora produtos usados, componentes e materiais, reorientando-os para gerar valor em outras cadeias produtivas (MORANA e SEURING, 2007 *apud* SEHNEM et al, 2019).

Cidade circular – aquela que incorpora os princípios da economia circular em todas as suas funções, estabelecendo um sistema urbano que é regenerativo, acessível e abundante na sua estrutura e planejamento (EMF, 2017).

Cidade com soluções baseadas na natureza – cidade que implementa conjunto de estratégias para enfrentar uma variedade de desafios socioecológicos relacionados à perda de biodiversidade, poluição do ar, inundações, secas; e questões em torno da saúde e bem-estar dos residentes. São exemplos de SBN, as florestas urbanas, paredes e fachadas verdes (FASTENRATH, 2020)

Cidade de baixo carbono - é aquela composta por três dimensões principais: redução de emissão de gases de efeito estufa; concepção de baixo carbono em todos os campos de desenvolvimento, incluindo produção, consumo e governança; e envolvimento dos setores de energia, construção civil, transporte, indústria de tal forma que se possa medir e avaliar os níveis de carbono desta cidade (LI et al, 2018)

Cidade inteligente – cidade onde redes e serviços se tornam-se mais eficientes com o uso de tecnologias digitais e de telecomunicações, resultando em benefício para seus habitantes e negócios (PARLAMENTO EUROPEU, 2014 *apud* KUMAR et al, 2020).

Cidade resiliente – cidade que promove desenvolvimento preventivo e capacidades adaptativas para lidar com qualquer tipo de ameaças inesperadas (LABAKA, 2019).

Cidade sustentável – Cidade que possui educação sustentável, energia renovável, eficiência energética, transporte sustentável, construções sustentáveis e gestão de resíduos, entre outros requisitos, quando combinado com qualidade de vida para os habitantes (SODIQ, 2019).

Cidade verde - cidades que se desenvolvem de forma socialmente responsável, respeitando simultaneamente o meio ambiente, questões sociais e econômicas (BRITO et al, 2019).

Cluster – espaço físico que possui, dentro dos seus limites geográficos, todo o conjunto de agentes necessários ao desenvolvimento de uma atividade ou processo orientado para um resultado. Ele agrupa fisicamente negócios similares ou complementares (LAUGENI, 2015).

Cluster de circularidade urbana - nesta tese, o termo “*cluster* de circularidade” é utilizado para se referir a uma área urbana ou região formada por diversas áreas urbanas fisicamente próximas que detenham, juntas, todos os requisitos de transição para cidade circular (base de ciência, tecnologia e inovação, condições estruturais, governança e dínamo da inovação), promovendo estratégias de ciclos fechados e de ciclos vagarosos no que tange a produtos ou serviços (ELABORAÇÃO PRÓPRIA, 2022).

Eco-cidade – cidade que garante que o desenvolvimento atenda às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras para atender às suas próprias necessidades (WCED, 1987 *apud* LI, 2019).

Ecologia industrial – Disciplina acadêmica focada no estudo de materiais e energia em sistemas industriais onde o material residual e os fluxos de energia de um processo podem ser usados em outros (KORHONEN, 2002 *apud* SEHNEM et al, 2019).

Economia circular – substituição do modelo linear por outro que promove o prolongamento de vida de materiais e produtos por meio do emprego de estratégias relacionadas aos princípios da estrutura R - repensar, recusar, reduzir, reutilizar, reformar, remanufaturar, reaproveitar, reciclar e recuperar (KIRCHHERR et al, 2017).

Economia linear - sistema contínuo de extração de matéria-prima e descarte que gera escassez de recursos naturais, acúmulo de resíduos e – consequente - degradação ambiental (Elaboração própria, 2022).

Estratégia de adaptação – estratégias de “adaptar” espaços urbanos (infraestrutura, construções e espaços) para mudarem de condições de acordo com a necessidade, evitando geração de resíduos e tecnologias fechadas – que não permitem atualização, por exemplo (WILLIAMS, 2017).

Estratégias de compartilhamento – estratégias que mantêm a velocidade do ciclo do produto baixa (durabilidade) e maximizam a sua utilização compartilhando-os entre diferentes usuários (WILLIAMS, 2019a).

Estratégia de ciclagem – estratégias que mantêm os componentes e materiais em ciclos fechados (reutilizar, reciclar, recuperar, remanufatura) e priorizar rotações.

Estratégia de localização – estratégias de “localizar”, fluxos de recursos ou de atividades dentro da cidade ou região que sejam habilitáveis para o fechamento do ciclo de recursos com foco no estabelecimento de ciclos locais (WILLIAMS, 2017).

Estratégia de otimização – estratégias que visam aumentar o desempenho/eficiência de um produto; remover resíduos em cadeia produtiva e de abastecimento; e prover dados a respeito do ciclo de vida do produto (WILLIAMS, 2019a).

Estratégia de substituição – estratégias de “substituir” recursos não-renováveis por renováveis dentro da cadeia de suprimentos, atividades baseadas em recursos por baseadas em serviços e estruturas não-duráveis por duráveis (WILLIAMS, 2017).

Estratégia de virtualização- estratégias para desmaterializar o uso de recursos, entregando a utilidade virtualmente (WILLIAMS, 2019a).

Estrutura “R” da economia circular – termo usado nesta tese para se referir ao conjunto de princípios da economia circular: repensar, recusar, reduzir, reutilizar, reformar, remanufaturar, reaproveitar, reciclar e recuperar (KIRCHHERR et al, 2017).

Logística reversa - Processo de devolução de produtos ou peças usadas ou não utilizadas para um produtor em um canal de distribuição, com o objetivo de recuperar valor ou destinação adequada (ROGERS e TIBBEN-LEMBKE, 201 *apud* SEHNEM et al, 2019).

Metabolismo urbano – cidade é um sistema aberto que importa, exporta e estoca recursos para a manutenção de suas funções, o fluxo desses recursos é denominado como metabolismo urbano (VOSKAMP, 2016).

Negócios circulares - empreendimento que permite maneiras economicamente viáveis de reutilizar continuamente produtos e materiais, usando recursos renováveis sempre que possível e se estruturando por meio de sistemas de serviços/produtos (BOCKEN et al, 2016).

Redes de circularidade urbana – termo criado nesta tese para demonstrar como cidades/municípios, sobretudo em países subdesenvolvidos e em desenvolvimento, podem viabilizar projetos de transição para cidade circular por meio de projetos/programas organizados em CANVAS. Portanto, redes de circularidade urbana são conceituadas como união de duas ou mais cidades e/ou municípios geograficamente próximos para a viabilizar a

implementação de um ou mais projetos de economia circular por meio do compartilhamento de recursos tais como tecnologia, estrutura física e logística, equipamentos, pessoal e canais de comunicação, entre outros.

Resíduos – qualquer saída do sistema de produto que é disposta (NBR ISO 14040).

Revisão bibliométrica – abordagem de pesquisa que combina análise de desempenho e mapeamento de publicações científicas permitindo detectar subdomínios conceituais, quantificar e visualizar a evolução temática de um determinado campo de pesquisa, a fim de detectar os diferentes temas tratados por ele em um determinado período de tempo. O protocolo de pesquisa desta revisão abrange coleta de dados, seleção de palavras-chave, desenvolvimento de matriz de cálculo (normalmente, utilizando um *software*), visualização de resultados e interpretação de dados (COBO et al, 2011; CHEN et al, 2016; GUTIERREZ-SALCEDO et al, 2018).

Revisão integrativa – Tipo de pesquisa bibliográfica por meio da qual, a partir de um protocolo de pesquisa que busca esgotar as fontes, são selecionados estudos experimentais e não-experimentais (UNESP, 2015).

Revisão narrativa – Tipo de pesquisa bibliográfica que não segue um protocolo definido, de tal forma que a busca por publicações, além de não esgotar as fontes, é norteada pelas escolhas do pesquisador (UNESP, 2015).

Revisão sistemática – Tipo de pesquisa bibliográfica por meio da qual, a partir de protocolo de pesquisa que busca esgotar as fontes, são selecionados estudos experimentais e observacionais tendo como objetivo de mapear, reunir e avaliar criticamente a metodologia da pesquisa, sintetizando resultados de diversos estudos primários (UNESP, 2015).

Simbiose industrial - Estrutura baseada em ecologia industrial para cooperação benéfica entre indústrias, compartilhando recursos tais como água, energia, subprodutos e materiais residuais por meio de fluxos de materiais através de ecossistemas em que o consumo de energia e material é otimizado, a geração de resíduos é minimizada e os efluentes de um processo servem como material para outro (CHERTOW e PARK, 2016 *apud* SEHNEM et al, 2019).

Tecnologia – conjunto de conhecimentos científicos ou empíricos diretamente aplicáveis à produção ou melhoria de bens ou serviços” (REIS, 2008, p. 31).

Categoria urbana sustentável – conjunto de metodologias, características e estratégias que podem ser identificadas em uma área urbana e em seus arredores com o objetivo de melhorar indicadores de sustentabilidade de uma cidade (ELABORAÇÃO PRÓPRIA, 2022).

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO

Este questionário faz parte da tese de doutorado que está sendo realizada no Centro de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília orientada pelo professor Armando de Azevedo Caldeira Pires e co-orientada pelo professor Jacob Silva Paulsen. O título da tese é "Requisitos de transição para cidade circular: estudo com base em clusters de circularidade". O objetivo principal da tese é "identificar a viabilidade de implementação da transição para cidade circular e a sua contribuição para a sustentabilidade urbana". No contexto desta pesquisa, cidade circular é conceituada como "aquela que incorpora os princípios da economia circular em todas as suas funções, estabelecendo um sistema urbano que é regenerativo, acessível e abundante na sua estrutura e planejamento (EMF, 2017)".

Este questionário possui quatro questões a respeito de economia circular, e a sua participação irá ajudar muito o alcance de resultados nesta pesquisa. Por isso, lhe convido a respondê-lo e agradeço imensamente a sua disponibilidade em participar.

Me coloco à disposição para sanar qualquer dúvida a respeito da pesquisa.

Atenciosamente,

ENDEREÇO DE E-MAIL:

QUAL É O SEU CARGO NESTA INSTITUIÇÃO?

Apoie-se no seguinte conceito de economia circular para responder as 5 questões propostas nestes questionário:

A economia circular é um sistema que substitui o conceito de 'fim de vida' de recursos e produtos ao reduzir, reutilizar, reciclar e recuperar materiais nos processos de produção, distribuição e consumo com o objetivo de alcançar desenvolvimento sustentável, qualidade ambiental e econômica, prosperidade e equidade social em benefício das gerações atuais e futura (KIRCHHERR et al, 2017).

QUESTÃO 01 - REQUISITOS

No contexto desta pesquisa, requisito é definido como o que precisa ser feito para que um resultado seja alcançado, uma estratégia seja implementada ou um desafio (barreira) seja vencido. São exemplos de requisitos para implementação de estratégias de economia circular identificados na revisão de literatura desta pesquisa:

- a. Políticas públicas: legislação, incentivos fiscais, barreiras fiscais, governança com protagonismo do setor público, estrutura e incentivo para reciclagem e logística reversa, entre outros.
- b. Tecnologia: desenvolvimento, incentivo e transferência de tecnologias limpas, criação e gerenciamento de bancos de dados e indicadores, análise de fluxo de materiais e avaliação de ciclo de vida, entre outros.
- c. Governança: mobilização de atores sociais com envolvimento de comunidade local e de empresas e o protagonismo de instituições públicas, coordenação de políticas públicas, relação ganha-ganha para todos os envolvidos da cadeia de produção e consumo, extensão da responsabilidade do produtor.
- d. Processo produtivo mais alinhado com os princípios da economia circular: eco-design, tecnologias de produção mais limpa, controle de qualidade e certificações, padronização internacional, uso de energias renováveis, simbiose industrial, cadeia de suprimentos comprometida com princípios os princípios de economia circular, entre outros.
- e. Novos modelos de negócios: novos modelos de negócios sintonizados com os princípios da economia circular e situados com proximidade regional; mudança de cultura, estratégia e cultura organizacional; capacidade de a economia circular aplicar modelos de produtos, serviços e negócios que contemplem alternativas de substituição aos de extração e produção primária, entre outros.

Cite os 3 principais REQUISITOS que, na sua visão ou da sua instituição, são mais importantes para que se tenha práticas e projetos de economia circular acontecendo DENTRO DE CIDADES? Se possível, justifique sua resposta. (Os requisitos citados por você podem ou não estar entre os elencados acima).

QUESTÃO 02 – DESAFIOS

No contexto desta pesquisa, desafio é considerado como uma barreira, uma dificuldade que precisa ser vencida para que se alcance um determinado objetivo ou se implemente uma determinada estratégia. São exemplos de desafios à implementação de práticas de economia circular identificados na revisão de literatura desta pesquisa:

- a. Políticas públicas: barreiras ao uso de produtos reciclados como matéria-prima; falta de Legislação e de regulamentação (normatização, certificações, padronização, etc); os estoques de resíduos aumentam a taxas mais altas que a estrutura para reciclagem; falta de incentivos financeiros para financiamento a iniciativas de economia circular, como baixo custo de matérias virgens.
- b. Tecnologia e políticas públicas: assimetria do conhecimento, por exemplo, o conhecimento sobre a disponibilidade e a qualidade dos fluxos de recursos secundários.
- c. Tecnologia: desenvolvimento e domínio tecnológico, envolvendo desde bancos de dados compartilhados a inovações como impressora 3D, internet das coisas e indústria 4.0;

desenvolvimento tecnológico que permita escalonamento comercial das iniciativas de economia circular.

d. Produção: o uso de energia de fontes fósseis para a reciclagem; foco em modelos lineares de negócios e de estratégias de produção; muitos produtos têm projeto para durar pouco tempo e são de difícil manutenção e reparo; custo mais alto de alguns produtos reciclados.

e. Produção e políticas públicas: fragmentação da indústria; falta de infraestrutura para todos os tipos de mercado que a natureza econômica da economia circular exige: mercado para bens finais, bens em fim de vida, sucata não processada, sucata semiprocessada, materiais reciclados, produtos recondicionados e produtos reparados em segunda mão. Além do fato de que estes “produtos da economia circular” compete diretamente com produtos primários, que são aqueles oriundos de matéria-prima virgem.

f. Governança e políticas públicas: falta de foco na dimensão social, a reciclagem é vista como um subtrabalho, por exemplo; poucos projetos de demonstração em larga escala e falta de dados sobre os resultados e impactos.

g. Governança: falta infraestrutura eficiente, como exemplo a estruturação da cadeia de suprimentos; falta de cultura de cooperação entre os atores sociais envolvidos nas iniciativas de transição para economia circular;

pouca interação com os consumidores e baixa cultura de busca de produtos de “economia circular” por parte dos consumidores, que preferem produtos novos; falta de informação a respeito de projetos, estruturas e produtos de economia circular.

Cite os 3 principais DESAFIOS que, na sua visão ou da sua instituição, são mais importantes para que se tenha práticas e projetos de economia circular acontecendo DENTRO DE CIDADES? Se possível, justifique sua resposta. (Os desafios citados por você podem ou não estar entre os elencados acima).

QUESTÃO 03 – ESTRATÉGIAS

Neste estudo, estratégia é considerada como a ação ou conjunto de ações empregados para o alcance de um determinado objetivo. São exemplos de estratégias que podem contribuir para a transição para cidade circular, identificadas na revisão de literatura desta pesquisa:

Centros de Reuso; uso de plataformas digitais; desenvolvimento tecnológico; associação entre a cidade e pequenas fábricas; centros de reciclagem; separação de resíduos; geração de energia com resíduos; desenvolvimento de modelos de negócios circulares com apoio do poder público; governança; planejamento urbano; uso de energia limpas; e políticas públicas que envolvam desenvolvimento de conhecimento, plataformas de colaboração, regulamentação, estrutura fiscal e infraestrutura.

As estratégias para transição para cidade circular envolvem a estrutura R em conjunto com ações de cidadão e comunidade; indústria 4.0 (principalmente nas indústria de plástico e têxtil) e os setores predominantes de energia, água, construção civil, gestão de resíduos e alimentação.

Cite as 3 principais ESTRATÉGIAS que, na sua visão ou da sua instituição, são mais importantes para que se tenha práticas e projetos de economia circular acontecendo DENTRO DE CIDADES, em especial, aquelas situadas em países em desenvolvimento? Se possível, justifique sua resposta. (As estratégias citadas por você podem ou não estar entre as elencadas acima).

QUESTÃO 04 – O PAPEL DOS ATORES SOCIAIS

Neste estudo, é considerado como "ator social" todo aquele cuja ação ou omissão impacta de maneira positiva ou negativa a implementação de práticas de economia circular, seja ele público ou privado, pessoa física ou jurídica. Considera-se que um ator social tem papel e funções dentro de um ambiente físico onde possam ocorrer projetos ou programas de economia circular. A revisão de literatura desta pesquisa identificou algumas ações que compõem o papel de atores pertencentes ao poder público, à iniciativa privada e à sociedade civil no caminho de transição para cidades circulares. São exemplos dessas ações :

a. Poder público: treinar e educar cidadãos, empresas, sociedade civil e mídia; capacitar servidores públicos; desenvolver políticas públicas implementadas por meio de legislação, parcerias público-privadas, incentivos financeiros, regulamentação e especificações técnicas; instituir de imposto para que entidades privadas contribuam com a reciclagem de resíduos gerados no fim de vida de resíduos da sua cadeia produtiva; e integração entre governo nacional e governos locais; ente outros.

b. Empresas: conectar e facilitar a cooperação entre as partes interessadas; entrar em contato e aprender com pioneiros e campeões circulares; comunicar a sociedade ou comunidade local sobre as suas ações e progresso circular com base no monitoramento; fazer projetos institucionais para economia circular; e ações de lobby para criação de legislação para economia circular e programas públicos de incentivo; e implementação de eco-design e avaliação de ciclo de vida; entre outros.

c. Empresas e poder público em conjunto: buscar parcerias público-privado; incentivar o voluntariado para ações circulares; criação de espaços e mecanismos de promoção à discussão; adoção de ferramenta integrada de arquivamento, gestão e compartilhamento de dados; campanhas educacionais; gestão da informação, permitindo compartilhamento de casos de sucesso que podem ser replicados; e parceria público-privada; entre outros.

d. Sociedade civil: engajamento em estratégias da Estrutura R da economia circular cujo sucesso depende em grande parte do seu comportamento e ação (repensar, recusar, reduzir, reutilizar, reparar, reformar, reaproveitar e reciclar); buscar aprender; e fazer a separação eficiente de resíduos para a coleta seletiva; entre outros.

Obrigada pela sua participação, as suas respostas contribuem imensamente para os resultados desta pesquisa.

Cite para cada tipo de ator social (empresa, poder público e sociedade civil) um tipo de conduta ou ação que você considera como principal a ser realizada para que ocorram projetos ou programas de economia circular dentro de cidades, em especial em cidades situadas em países em desenvolvimento. (Fique à vontade para citar mais de uma ação

por ator social, para citar ações que estejam ou não entre as elencadas nesta questão e para justificar ou não as ações citadas por você).

QUESTÃO 05 – RECICLAGEM

Com base na sua área de especialização ou da sua instituição, cite **AÇÕES** e/ou **DESAFIOS** à reciclagem dos seguintes materiais no Brasil: alumínio, plástico, vidro e restos de alimentos. (Fique à vontade para citar uma ação ou mais e também para comentar sobre todos os materiais citados ou somente sobre aquele que estiver mais ligado à sua área de atuação)

Esta seção apresenta DUAS questões específicas para atendimento aos procedimentos de ética em pesquisa aos quais este instrumento de coleta de dados se submete.

Permite que seja divulgado o nome da sua instituição como um dos respondentes deste questionário na tese para a qual esta pesquisa está sendo aplicada e nos artigos que possam vir a ser publicados a partir dela? (Ressalta-se que o nome do respondente sempre será mantido em anonimato).

- Sim
 Não

Tem interesse em receber os resultados desta pesquisa?

- Sim
 Não