



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS - UFAM
CENTRO DE CIÊNCIAS DO AMBIENTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO
AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE NA AMAZÔNIA –
PPG/CASA



**ECONOMIA CIRCULAR COMO BASE PARA GESTÃO SUSTENTÁVEL DE
RESÍDUOS SÓLIDOS DO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS**

VANESSA KEROLIN ARAÚJO MEIRELES

**MANAUS
2023**

VANESSA KEROLIN ARAÚJO MEIRELES

TESE DE DOUTORADO

**ECONOMIA CIRCULAR COMO BASE PARA GESTÃO SUSTENTÁVEL DE
RESÍDUOS SÓLIDOS DO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS**

Linha de pesquisa: Dinâmicas Socioambientais

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia da Universidade Federal do Amazonas (Brasil), em cotutela com o Programa Doutoral em Ciências e Engenharia do Ambiente da Universidade de Aveiro (Portugal), como requisito para a obtenção dos títulos de Doutora em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia e Doutora em Ciências e Engenharia do Ambiente, sob a orientação da Professora Dra. Andrea Viviana Waichman.

MANAUS – AM

2023

Ficha Catalográfica

Elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

M514e

Meireles, Vanessa Kerolin Araujo

Economia Circular como base para Gestão Sustentável de Resíduos Sólidos do Polo Industrial de Manaus / Vanessa Kerolin Araujo Meireles. - 2023. 137 f. : il., color. ; 31 cm.

Orientador(a): Andrea Viviana Waichman.

Tese (doutorado) - Universidade Federal do Amazonas, Programa de Pós-Graduação Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia, Manaus, 2023.

1. Resíduos Industriais. 2. Produção Industrial. 3. Economia Circular. 4. Sustentabilidade. 5. Gestão Ambiental. I. Waichman, Andrea Viviana. II. Universidade Federal do Amazonas. Programa de Pós-Graduação Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia. III. Título

APROVADO EM: 11 de agosto de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Profª Dra.

Kátia Viana Cavalcante

Profª Dra.

Maria Olívia de Albuquerque Ribeiro Simão

Profº Dr.

Neliton Marques da Silva

Profº Dr.

Rafael Lima Medeiros

Profª Dra.

Rosana Zau Mafra

DEDICATÓRIA

Em memória ao primeiro professor que acreditou na minha capacidade de um dia ser doutora, um amigo, incentivador e primeiro orientador desta tese Professor Dr. João Nildo Vianna (*In memoriam*).

AGRADECIMENTOS

Chegou o dia tão esperado: o fim de uma longa e difícil jornada, a consolidação desta tese. Ao registrar no papel o que se passa na mente humana após anos de estudo, leitura e múltiplos aprendizados, percebo que não foi uma trajetória fácil. Escrever uma tese de doutorado em meio a uma pandemia, que trouxe anos difíceis, marcados por perdas, tristezas e luto, misturados também a momentos de superação e conquistas, foi, com certeza, algo singular na história da minha vida. A história da minha vida seria outra sem este doutorado — uma história construída por muitas superações —, e defender esta tese é, sem dúvida, a maior delas. Por isso, quero expressar meu reconhecimento a todos que contribuíram para que este momento se tornasse realidade.

Primeiramente, agradeço à minha família, que sempre me apoiou e incentivou a perseguir meus sonhos. Meus pais, Antônia Ocilegna e Edivaldo, e minhas avós, Rita (*in memoriam*) e Maria dos Remédios, foram fundamentais nessa jornada. Como bem diz Emicida (2020), “eu sou o sonho dos meus pais, que eram sonhos dos meus avós, que, por sua vez, eram sonhos dos meus ancestrais”. Este sonho de ser doutora foi uma conquista coletiva, e sou grata pelo apoio e reconhecimento dos meus irmãos: Valéria, Vinícius e Victor, assim como de tios, tias e primos.

Agradeço à Universidade Federal do Amazonas e à Universidade de Aveiro por proporcionarem um ambiente singular de aprendizado em minha vida, com professores e técnicos dedicados à educação e ao desenvolvimento de um pensamento crítico. Sou grata à CAPES e à FAPEAM pelo financiamento desta pesquisa e pelo fomento ao desenvolvimento científico na Amazônia. Viva a universidade pública!

Aos colegas de turma que contribuíram de maneira positiva em cada aula, trabalho ou debate — Silvio, Jeferson, Orleyson e Márcio —, meu muito obrigado. Agradeço também aos professores do curso de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia, em especial aos meus orientadores João Nildo (*in memoriam*) e Andrea Waichman, que foram fundamentais para esta pesquisa, ouvindo meus medos e preocupações, além de me apoiarem nos momentos de dificuldade. Agradeço ainda aos professores Henrique Pereira, Neliton Marques, Terezinha Fraxe e Anderson Pereira, que, como coordenadores do PPGCASA, ofereceram todo o suporte necessário.

Aos amigos que a vida me presenteou e que estiveram ao meu lado nos momentos mais difíceis, oferecendo apoio e conselhos — representados aqui por Anne Dirane —, meu sincero agradecimento. A todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para este processo: esta vitória é de todos vocês.

Qualquer descoberta que faça com que o consumo seja menos necessário para o propósito de viver é um ganho econômico tão grande quanto uma descoberta que melhore nossa habilidade de produzir... pois, o objetivo da política econômica não deveria ser o de maximizar a produção e o consumo, mas ao invés disso minimizá-los. (DALY, 1996)

RESUMO

O avanço da industrialização em larga escala, como padrão de desenvolvimento industrial mundial baseado na produção linear (*cradle-to-grave*), tem gerado impactos significativos nas condições socioeconômicas e ambientais globais. Isso se deve à exploração massiva de recursos naturais e ao descarte indiscriminado de resíduos sólidos. O modelo de produção linear, que se preocupa exclusivamente com o abastecimento dos processos produtivos e o descarte ao fim, não atende mais às expectativas de desenvolvimento sustentável exigidas por uma sociedade cada vez mais consciente e por um mercado que busca a longevidade da industrialização. Os Resíduos Sólidos Industriais (RSI) são um dos principais problemas gerados pela industrialização, apresentando alto potencial de causar danos ao meio ambiente. Neste contexto, *stakeholders* da produção industrial têm incentivado a busca por novas metodologias de gestão ambiental sustentável, visando à minimização de riscos. A pesquisa apresentada nesta tese discute a gestão de resíduos em um dos principais cenários de produção industrial do Brasil: o Polo Industrial de Manaus (PIM). Este polo abriga mais de 400 indústrias que recebem incentivos governamentais para operar na Amazônia. Apesar das rigorosas legislações ambientais, o modelo de produção no PIM permanece linear, ineficiente e insustentável, sem diálogo com os debates internacionais sobre a proteção ambiental da Amazônia. A Economia Circular é proposta como uma alternativa para promover uma mudança real e sustentável no PIM. A pesquisa é de base bibliométrica, bibliográfica e documental, com o objetivo de apresentar a Economia Circular como uma alternativa sustentável para a gestão de resíduos sólidos industriais no Polo Industrial de Manaus. Inicialmente, foi realizado um levantamento bibliométrico da produção científica sobre Economia Circular e temas relacionados, utilizando plataformas como Scopus e Web of Science. Em seguida, foi elaborada uma pesquisa bibliográfica para contextualizar a gestão de resíduos sólidos, a legislação e a aplicação da Economia Circular. A pesquisa revela que a implementação de práticas de Economia Circular no PIM pode transformar os resíduos industriais de um problema em uma oportunidade econômica, ambiental e social, promovendo uma gestão integrada e sustentável no contexto amazônico. Os principais resultados demonstram a necessidade de uma governança mais robusta, que incentive a circularidade e a colaboração entre as indústrias, visando à recuperação de materiais e à minimização de resíduos, contribuindo, assim, para a sustentabilidade da região.

Palavras-chave: Resíduos Industriais. Produção Industrial. Economia Circular. Sustentabilidade. Gestão Ambiental.

ABSTRACT

The advancement of large-scale industrialization, as a standard of global industrial development based on linear production (Cradle-to-Grave), has generated significant impacts on global socioeconomic and environmental conditions. This is due to the massive exploitation of natural resources and the indiscriminate disposal of solid waste. The linear production model, which is solely concerned with supplying production processes and discarding at the end, no longer meets the expectations of sustainable development required by an increasingly conscious society and a market seeking the longevity of industrialization. Industrial Solid Waste (ISW) is one of the main problems generated by industrialization, with a high potential to cause environmental damage. In this context, stakeholders in industrial production have encouraged the pursuit of new methodologies for sustainable environmental management, aiming to minimize risks. The research presented in this thesis discusses waste management in one of Brazil's main industrial production scenarios: the Manaus Industrial Hub (MIH). This hub hosts more than 400 industries that receive government incentives to operate in the Amazon. Despite stringent environmental legislation, the production model in the MIH remains linear, inefficient, and unsustainable, lacking dialogue with international discussions on environmental protection in the Amazon. The Circular Economy is proposed as an alternative to promote real and sustainable change in the MIH. The thesis consists of a bibliometric, bibliographic, and documentary research, aiming to present the Circular Economy as a sustainable alternative for managing industrial solid waste in the Manaus Industrial Hub (MIH). Initially, a bibliometric survey of scientific production on Circular Economy and related themes was conducted, using platforms such as Scopus and Web of Science. Subsequently, a bibliographic research was developed to contextualize solid waste management, legislation, and the application of the Circular Economy. The research reveals that the implementation of Circular Economy practices in the MIH can transform industrial waste from a problem into an economic, environmental, and social opportunity, promoting integrated and sustainable management in the Amazon context. The main results demonstrate the need for a more robust governance that encourages circularity and collaboration among industries, aiming for material recovery and waste minimization, thus contributing to the sustainability of the region.

Keywords: Industrial Waste, Industrial Production, Circular Economy, Sustainability, and Environmental Management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Modelos de produção descritos por Walter R. Stahel, em 1982.	39
Figura 2: Diagrama sistêmico da Economia Circular.	45
Figura 3: Marcos da Economia Circular.	47
Figura 4: Diagrama de Inter-relação entre os países com publicação no Scopus	52
Figura 5: Nuvem de palavras-chave em artigos do Scopus sobre Economia Circular de Resíduos Industriais".	53
Figura 6: Modelo de fluxo de produção linear baseado no sistema do berço ao túmulo. Adaptado por: Meireles, 2022.	64
Figura 7: Fases da percepção sobre Resíduos Industriais.	67
Figura 8: Modelo de classificação de resíduos da Lista Brasileira de Resíduos Sólidos.	72
Figura 9: Atores da gestão de Resíduos Industriais do PIM	85
Figura 10: Mapa dos estados pertencentes à SUFRAMA.	92
Figura 11: Mapa de destaque dos bairros do Distrito Industrial em Manaus	96
Figura 12: Mapa de distribuição de municípios do Amazonas declarantes no SINIR	109

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Filtros para consultas bibliométricas nas plataformas na <i>Scopus</i> .	48
Tabela 2: Principais artigos sobre Economia circular, Resíduos Industriais e Sustentabilidade	
55Tabela 3 : Representação das empresas cadastradas na SUFRAMA com projetos aprovados para operar no PIM.	98
Tabela 4: Principais Parques Eco Industriais Mundiais	118

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Série histórica de produções científicas sobre economia circular no Scopus	49
Gráfico 2: Principais países a publicar sobre Economia Circular na Scopus.	51
Gráfico 3: Evolução da taxa de desmatamento nos estados da região norte do Brasil.	94
Gráfico 4: Evolução da taxa de desmatamento no estado do Amazonas	95
Gráfico 5: Participação dos subsetores de atividades no faturamento do PIM 2022	99
Gráfico 6: Histórico de faturamento da produção de bens no PIM.	100
Gráfico 7: Principais produtos por setor produtivo do Polo Industrial de Manaus	101
Gráfico 8: Histórico da geração de empregos direto no Polo Industrial de Manaus	103
Gráfico 9: Emprego de mão de obra direta no Polo Industrial de Manaus.	103
Gráfico 10: Geração de resíduos industriais do PIM.	107
Gráfico 11: Geração de resíduos industriais em Manaus.	110
Gráfico 12: Tratamento dado aos resíduos industriais classe II em Manaus	111
Gráfico 13: Tratamento dado aos resíduos industriais perigosos classe I em Manaus	112
Gráfico 14: Autodeclaração das Indústrias manauaras com atividades potencialmente poluidoras ao IBAMA	113

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABC - Agência Brasileira de Cooperação do Ministério de Relações Exteriores
ABIPLAST - Associação Brasileira da Indústria do Plástico
ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV - Análise de Ciclo de Vida
AIA - Avaliação de Impactos Ambientais
APP - Atividades Potencialmente Poluidoras
BD_IR - Banco de Dados do Inventário de Resíduos Sólidos Industriais
CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CBA - Centro de Bionegócios da Amazônia
CERS - Comitê Estadual de Resíduos Sólidos
CNPJ - Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica
CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente
CTF - Cadastro Técnico Federal
EC - Economia Circular
EPA - Environmental Protection Agency (Agência de Proteção Ambiental Americana)
ESG - Environmental, Social and Governance
EUA - Estados Unidos da América
FAPEAM - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas
FIEAM - Federação das Indústrias do Estado do Amazonas
FIESP - Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
GRI - Grupo de Gerenciamento de Resíduos Industriais da SUFRAMA
IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICO2 - Indicador Carbono Eficiente
IGCT - Índice de Governança Corporativa
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPAAM - Instituto de Proteção Ambiental do Estado do Amazonas
IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada.
ISE - Índice de Sustentabilidade Empresarial
ISO - International Organization for Standardization
JICA - Agência Japonesa de Cooperação Internacional
MMA - Ministério do Meio Ambiente

MTR - Manifesto de Transporte de Resíduos
NBR - Norma Brasileira Regulamentadora
ONG - Organização Não Governamental
P&D - Planejamento e Desenvolvimento
P+L - Produção Mais Limpa
PEI - Parque Eco Industrial
PERS-AM - Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Amazonas
PGRS - Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos
PI - Parque Industrial
PIM - Polo Industrial de Manaus
PNMA – Política Nacional de Meio Ambiente
PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos
RAPP – Relatório de Atividades Potencialmente Poluidoras
RS - Resíduos Sólidos
RSI - Resíduo Sólido Industriais
SEMA - Secretaria Estadual do Meio Ambiente
SEMMAS - Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Sustentabilidade
SEMULSP - Secretaria Municipal de Limpeza e Serviços Públicos
SENAI - Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial.
SGI - Sistema de Gestão Integrado
SIBR - Sistema Integrado das Bolsas de Resíduos Nacional
SIMPLAST - Sindicato de Indústrias de Material Plástico de Manaus
SINDIPLAST - Sindicato da Indústria de Material Plástico
SISNAMA - Sistema Nacional do Meio Ambiente
SNVS - Sistema Nacional de Vigilância Sanitária
SPVEA - Superintendência de Plano de Valorização Econômica da Amazônia
SUFRAMA - Superintendência da Zona Franca de Manaus
UEA - Universidade Estadual do Amazonas
UFAM - Universidade Federal do Amazonas
UNCED - United Nations Conference on Environment and Development
WWF - World Wildlife Fund

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO DA TESE	15
INTRODUÇÃO	16
JUSTIFICATIVA	22
OBJETIVOS	29
METODOLOGIA	30
CAPÍTULO 1	33
ECONOMIA CIRCULAR: UMA ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS	33
1.1 ROADMAP DA ECONOMIA CIRCULAR	36
1.2 LEVANTAMENTO BIBLIOMÉTRICO	49
CAPÍTULO 2	62
GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS: PROBLEMA, OBRIGAÇÃO OU OPORTUNIDADE?	62
2.1. RESÍDUOS INDUSTRIAIS: TERMOS, DEFINIÇÕES E CLASSIFICAÇÕES	72
2.2. ESTRUTURA LEGAL, NORMAS E ORIENTAÇÕES PARA GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DO PIM	77
2.3. ATORES DA GOVERNANÇA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DO PIM	88
CAPÍTULO 3	94
ECONOMIA CIRCULAR COMO MECANISMO DE SUSTENTABILIDADE PARA O POLO INDUSTRIAL DE MANAUS	94
3.1. CARACTERIZAÇÃO DO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS	94
3.2. GERAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS NO PIM	110
3.3. MODELOS DE ECONOMIA CIRCULAR EM PARQUES INDUSTRIAIS	119
CONCLUSÃO	128
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	131

APRESENTAÇÃO DA TESE

A tese intitulada “Economia Circular como Base para Gestão Sustentável de Resíduos Sólidos no Polo Industrial de Manaus” foi elaborada entre os anos de 2017 e 2023, em uma parceria desenvolvida por meio de cotutela entre a Universidade Federal do Amazonas (Brasil), por meio do Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia, e a Universidade de Aveiro (Portugal), por meio do Programa Doutoral em Ciências e Engenharia do Ambiente. A orientação desta pesquisa foi realizada pelos professores Dr. João Nildo Viana (*in memoriam*), Dra. Andrea Viviana Waichman e Dr. Luís António da Cruz Tarelho. Foram aportados recursos de financiamento, via bolsa de incentivo à pesquisa, pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) e pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). A cotutela visou contribuir com pesquisas na área de novas tecnologias de tratamento de resíduos e inovação ambiental. As atividades em Aveiro foram desenvolvidas no âmbito de um doutorado-sanduíche, executado entre novembro de 2019 e outubro de 2020.

INTRODUÇÃO

A relação do homem com o processo de domínio e transformação da natureza foi historicamente moldada a partir de uma perspectiva de consumo e crescimento infinitos. O paradigma inicial de uso ilimitado dos recursos naturais tem ocasionado, em nossa evolução socioambiental, alterações danosas ao ambiente e, conseqüentemente, à qualidade de vida humana.

O conflito existente entre as atividades de desenvolvimento humano, pós-Revolução Industrial, entre os séculos XVII e XIX, e as conseqüentes alterações ambientais causadas pela poluição industrial foi um fator importante para o início dos debates internacionais que inseriram as ações antrópicas nas discussões sobre meio ambiente.

Evidências dessas transformações danosas passaram a ser mais perceptíveis na segunda metade do século XX, após uma série de acidentes industriais decorrentes do transporte, armazenamento ou uso de substâncias tóxicas e perigosas. Seveso, em 1976; Bhopal, em 1984; e Chernobyl, em 1986, são exemplos mundialmente conhecidos que fundamentaram a expansão dos debates socioambientais sobre os impactos das atividades industriais no ambiente.

Um dos principais agentes de danos ambientais desse modelo de desenvolvimento foi a poluição decorrente do processo de industrialização, desde a extração de matéria-prima até o descarte de produtos ou resíduos. Os impactos gerados nas diversas fases da produção industrial — extração de recursos naturais, transporte, manufatura, venda, consumo até o processo de descarte final — foram, por muito tempo, negligenciados, ocasionando, ao longo dos anos, impactos ambientais generalizados pelo acúmulo de resíduos sem tratamento ou pela queima indiscriminada desses resíduos.

As atividades industriais, como modelo de desenvolvimento massivo, desempenharam um papel determinante no aumento da poluição industrial, principalmente pelo alto consumo de recursos naturais oriundos de diversas partes do mundo e pela concentração da geração de resíduos. Para Santos (2006), a globalização dos processos de produção gera desigualdades criadas pelo sistema capitalista, afetando as esferas econômica, social e ambiental em nome de uma produção em larga escala que não considera os impactos adversos ligados à industrialização.

A globalização industrial, por sua vez, criou modelos operacionais descentralizados, que até hoje são mundialmente exportados para locais que oferecem vantagens econômicas e fiscais para a produção industrial, criando assim as empresas transnacionais, que atuam principalmente em países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil.

Com as vantagens comerciais oferecidas no território nacional, grandes indústrias estrangeiras implantaram no Brasil suas linhas de produção, fruto de acordos considerados positivos para ambos os lados. As grandes corporações exportam sua linha de produção para países com menor custo de operação, e, nacionalmente, são gerados empregos que movimentam uma longa cadeia econômica. A implantação de unidades operacionais estrangeiras é apresentada às populações locais como fonte de crescimento econômico, que, conseqüentemente, cria empregos, gera renda e promove o desenvolvimento social.

Contudo, junto com as grandes indústrias internacionais, também são exportadas as externalidades ambientais da produção (poluição) de países hegemônicos, que já não têm interesse em manter, em seus territórios, atividades altamente impactantes ao ambiente (RIVAS, 2014). Dessa forma, os impactos socioambientais são exportados e invisibilizados por fatores econômicos de grupos de interesse enviesados pelo discurso liberal de abertura de mercados.

O avanço mundial da industrialização trouxe consigo o debate crítico sobre os riscos e impactos ambientais associados a esse modelo de desenvolvimento, com investigações que consideram os diversos fatores de interação entre a produção industrial e as mudanças ambientais, percebidas local e globalmente, associadas à exploração de recursos naturais e à poluição.

Uma significativa fonte de poluição associada à produção industrial é a geração de resíduos sólidos, que representam riscos ambientais com potencial de causar danos socioambientais. De acordo com a *Society for Risk Analysis* (www.sra.org), risco ambiental é o potencial de ocorrência de resultados adversos indesejados para a saúde ou vida humana, para o ambiente ou para bens materiais. Se compararmos essa definição com a definição de resíduos sólidos, podemos observar que, pela descrição da *Society for Risk Analysis*, os resíduos sólidos se enquadram como risco ambiental.

O debate ambiental internacional iniciado nos anos 1960 demorou a incorporar a questão dos resíduos sólidos (MAIMON, 1996), apesar de já discutir as ideias de um novo desenvolvimento, dito sustentável. Medidas de controle ambiental de prevenção à poluição industrial, por meio de políticas internacionais com foco em resíduos, avançaram após as primeiras iniciativas da Organização Mundial do Comércio (OMC), estabelecidas pela Convenção da Basileia, ocorrida em 1989. Nos anos 1990, com a intensificação dos debates ambientais e seus impactos na produção industrial global, a *International Organization for Standardization* (ISO) desenvolveu um conjunto de normas com padronização internacional, descrevendo requisitos de gestão ambiental por meio da série ISO 14000, o que representou um marco importante para que empresas investissem no controle de resíduos.

De acordo com Borges e Pinto (2010), culturalmente, o valor de uso atribuído a determinada matéria ou resíduo varia de acordo com o conhecimento de suas propriedades, potencialidades e tecnologias associadas. Por isso, é importante conciliar a investigação socioambiental local a pesquisas sobre novas tecnologias para o tratamento e destinação de resíduos sólidos que apresentem inovação ou que já estejam difundidas com eficiência em outros lugares.

Nesse contexto, os Resíduos Sólidos Industriais (RSI), dentre os demais, demandam especial atenção, devido à complexidade de suas características: normalmente são produzidos em grande quantidade e volume, contêm componentes perigosos ou inertes, possuem pontos de geração fixos e contínuos, e têm influência direta ou indireta da planta industrial, além de estarem sujeitos a legislação de controle exigente e taxativa quanto ao gerenciamento.

O Brasil possui uma gama de legislações ambientais que regulamentam os resíduos e suas interações, dando base para discutir os impactos ambientais decorrentes da geração de resíduos; mesmo assim, ainda enfrenta grandes dificuldades em destinar de maneira sustentável os resíduos descartados.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos — PNRS (Lei nº 12.305/2010) é atualmente o principal instrumento legal para a gestão de resíduos no país. Na prática, os avanços sobre a gestão de resíduos no Brasil têm sido lentos, principalmente devido à falta de infraestrutura, fiscalização e investimentos governamentais. Transcorrida mais de uma década desde sua promulgação, a lei tem demonstrado avanços modestos no cenário nacional.

Em Manaus, o panorama da gestão de resíduos acompanha o cenário nacional. No decorrer deste trabalho, será apresentado o contexto da gestão dos resíduos sólidos industriais da cidade, bem como a possibilidade de novas alternativas para uma gestão mais sustentável. As indústrias instaladas em Manaus fazem parte do Polo Industrial de Manaus (PIM), modelo de desenvolvimento econômico adotado nos anos 1960 para atrair indústrias de montagem nacionais e internacionais para a região amazônica, com o propósito de ocupar, promover o desenvolvimento econômico e dissociar esse desenvolvimento do consumo de recursos naturais oriundos da floresta.

Implantado em Manaus, capital do Amazonas, esse conglomerado de indústrias está imerso em uma zona de intenso debate ambiental no cerne das discussões mundiais sobre sustentabilidade e proteção dos recursos naturais da Amazônia, o que contrasta com a realidade de intensas transformações sociais, ambientais e econômicas causadas por um polo de produção industrial com mais de 400 indústrias instaladas em uma metrópole cercada por rios e florestas.

O Polo Industrial de Manaus é a maior fonte de geração de resíduos industriais no Amazonas; contudo, mesmo com mais de 50 anos de operação, pouco se conhece sobre os resíduos gerados no PIM e seus reais impactos ambientais. A carência de informações consistentes e dados científicos inviabiliza o desenvolvimento de políticas públicas de sustentabilidade.

Algumas vertentes associam ao PIM o fato de o estado do Amazonas manter grande parte da sua cobertura vegetal (RIVAS et al., 2009), mas sem nenhuma avaliação crítica dos impactos ambientais decorrentes da implantação e dinâmica operacional dessas indústrias em plena Amazônia.

Os resíduos sólidos produzidos no PIM representam, no atual contexto, um problema para a promoção da sustentabilidade na região, pois, se geridos de maneira incorreta, podem provocar impactos nocivos à qualidade ambiental da cidade. No entanto, também podem representar uma nova possibilidade de recursos para a movimentação do mercado local em setores como a recuperação de matéria-prima e energética. Alternativas sustentáveis para o gerenciamento de resíduos sólidos podem ser aplicadas para solucionar, concomitantemente, três importantes demandas da produção industrial local: destinação correta de resíduos sólidos, recuperação de matéria-prima e fontes energéticas alternativas.

Perante os riscos ambientais ocasionados pela intensa geração de resíduos industriais na Amazônia, considera-se que, para atuar de maneira objetiva sobre os impactos ambientais inerentes aos resíduos produzidos em Manaus, é de fundamental importância conhecer como se dá a sistemática de gerenciamento dos resíduos industriais do PIM. Para isso, estabelece-se um paralelo entre o cenário atual do PIM e o uso da Economia Circular como modelo de produção sustentável.

Na Economia Circular, os resíduos sólidos industriais são considerados falhas de projeto — erros de design — que podem ser evitados ou minimizados e, quando inevitáveis, podem tornar-se novamente matéria-prima para outros processos. Assim como na natureza, não existem resíduos; tudo que é produzido é consumido ou, de alguma forma, volta a integrar o ambiente. Para a Economia Circular, os resíduos continuam sendo matéria-prima até esgotarem-se suas condições de reaproveitamento.

Essa metodologia de operação avalia, com critérios de sustentabilidade, todas as fases de produção, desde o design e o planejamento até a manufatura e a entrega do produto. Com uma avaliação constante de todas as influências associadas ao processo, busca-se evitar falhas de projeto, ou seja, a geração de resíduos.

O Polo Industrial de Manaus é um organismo de extrema importância para a promoção da sustentabilidade na Amazônia; porém, a cada dia percebe-se que produzir de maneira sustentável vai além de entregar, ao final de uma linha de produção, produtos e resíduos. Defende-se, portanto, a tese de que o Polo Industrial de Manaus, no cenário em que hoje se encontra, não é sustentável; contudo, apresenta condições básicas para vir a ser sustentável, caso sejam implantados mecanismos de Economia Circular.

A partir de uma ótica crítica, esta pesquisa buscou explicar o modelo de gerenciamento de resíduos do Polo Industrial de Manaus e os instrumentos de regulação que o regem, apresentando a possibilidade de aplicação da Economia Circular como um modelo de base sustentável que engloba fatores de viabilidade técnica, econômica, social, ambiental e política, com potencial para oferecer ao PIM uma perspectiva sustentável a longo prazo, que seja economicamente viável, socialmente justa e ambientalmente segura.

Durante a pesquisa, foram encontrados diversos obstáculos para acessar informações sobre a geração e destinação de resíduos industriais no Amazonas, o que demonstra o quão importante esta pesquisa se apresenta para abrir caminho à formulação de políticas públicas de

gestão ambiental sustentável para a produção industrial na Amazônia. Por meio de consulta bibliográfica e pesquisa documental junto aos órgãos ambientais federal (IBAMA), estadual (IPAAM) e de gestão do polo (SUFRAMA), realizou-se uma avaliação de dados secundários, com o intuito de embasar os resultados aqui apresentados e divididos em três capítulos.

A apresentação da tese traz o problema de pesquisa, justificando a relevância do tema para a construção de dados científicos que promovam e incentivem as ciências ambientais na busca pelo debate e solução de um problema real que gera impactos socioambientais e econômicos para a sociedade. Descreve-se também o percurso metodológico que possibilitou a construção dos resultados encontrados por meio de pesquisa bibliográfica e bibliométrica.

No Capítulo 1, aborda-se a Economia Circular e sua evolução científica e metodológica, com o objetivo de demonstrar a base conceitual considerada pela tese como alternativa sustentável para o Polo Industrial de Manaus (PIM). A discussão é conduzida por meio de um estudo bibliográfico, apresentando os principais conceitos, definições e abordagens do tema, a fim de fundamentar o debate e proporcionar ao leitor diferentes visões sobre a Economia Circular e sua aplicação na gestão de resíduos sólidos industriais. Para contribuir com a evolução do conhecimento, são apresentados os resultados bibliométricos de pesquisas sobre o tema, bem como as principais frentes de divulgação desses estudos.

O Capítulo 2 é dedicado ao debate sobre resíduos sólidos industriais, discutindo o percurso lógico necessário para entender o que são esses resíduos e a sua condição enquanto problema ambiental ou oportunidade de negócio vinculada à sustentabilidade ambiental. Foram descritos os atores envolvidos no processo de coleta, análise e publicação de dados sobre a gestão de resíduos industriais na cidade de Manaus, bem como o atual cenário de geração e tratamento desses resíduos. Apresentam-se definições e modelos de classificação para melhor caracterizar os resíduos, visando identificar oportunidades de tratamento ou reinserção em novos processos produtivos. Ao descrever a estrutura legal, foi analisado todo o arcabouço cronológico de legislações ambientais nacionais e locais, assim como os atores que oferecem instrumentos de gestão para os resíduos do polo no contexto amazônico.

O terceiro e último capítulo apresenta a Economia Circular como mecanismo de sustentabilidade para o Polo Industrial de Manaus, a partir de uma caracterização socioambiental do cenário do PIM e de sua interação regional e nacional na implantação de projetos de Economia Circular. São apresentados dados que relacionam a operação do polo de

produção industrial à manutenção das florestas no Amazonas, um fator de sustentabilidade ambiental de relevância global.

A discussão do último capítulo baseou-se em dados sobre faturamento, geração de empregos, produção, tipos de empreendimentos, condições potenciais para a implantação de sistemas de Economia Circular e sugestões para a construção de um modelo sustentável que possibilite a continuidade do PIM de forma ambientalmente segura, socialmente justa e economicamente viável.

JUSTIFICATIVA

Esta pesquisa foi desenvolvida em um período em que, mundialmente, se debate o papel das grandes corporações: indústrias, centros de pesquisa, empresas, mídia e grandes influenciadores na promoção de ações sustentáveis. A sustentabilidade tornou-se um ponto focal dos debates sobre consumo, produção e seus impactos, que ultrapassaram a academia e chegaram à sociedade com diversas definições e diferentes abordagens, que, sobretudo, buscam o equilíbrio entre as atividades humanas e o ecossistema natural.

Segundo Boff (2012), atender às necessidades de consumo das atividades antrópicas não pode estar dissociado da manutenção do equilíbrio ambiental, pois é exatamente esse equilíbrio que permite a manutenção da vida. O autor define sustentabilidade como:

“O conjunto de processos e ações que visam manter a vitalidade e integridade da Mãe Terra, a preservação de seus ecossistemas com todos os elementos físicos, químicos e ecológicos que permitem a existência e produção da vida, satisfazendo as necessidades das gerações atuais e futuras, a continuidade, expansão e realização do potencial da civilização humana em suas diversas expressões” (BOFF, 2012).

Para Ignacy Sachs (2009), a evolução das civilizações se deu pelo uso eficiente de recursos naturais renováveis (biomassa); porém, o progresso da humanidade desconsiderou a importância do equilíbrio entre o que é retirado dos ecossistemas e o que é devolvido para o meio, chegando ao desequilíbrio. Isso criou a necessidade de uma nova abordagem que o autor chamou inicialmente de ecodesenvolvimento ou desenvolvimento sustentável, fundamentada na harmonização de objetivos sociais, ambientais e econômicos. Para abandonar a visão predatória de crescimento econômico a qualquer custo, é necessário integrar a discussão socioambiental nos interesses econômicos, de mercado e territoriais, considerando:

“Uma intensa reflexão sobre as estratégias de economia de recursos (urbanos e rurais) e sobre o potencial para a implementação de atividades direcionadas para a ecoeficiência e para a produtividade dos recursos: reciclagem, aproveitamento de lixo, conservação de energia, água e recursos, manutenção de equipamentos, infraestruturas e edifícios visando à extensão de seu ciclo de vida” (SACHS, 2009).

A responsabilização das corporações nesse contexto está ligada às bases legais e de responsabilização dos agentes de poder. Freitas (2016) aborda a sustentabilidade como:

“O princípio constitucional que determina, com eficácia direta e imediata, a responsabilidade do Estado e da sociedade pela implementação conjunta do desenvolvimento material e imaterial, socialmente inclusivo, duradouro e equitativo, ambientalmente limpo, inovador, ético e eficiente, para assegurar preferencialmente, de forma preventiva e cautelosa, no presente e no futuro, o direito ao bem-estar” (FREITAS, 2016).

Diante dessas três perspectivas de sustentabilidade, respectivamente: humanista, econômica e legal, percebemos que o mundo empresarial e financeiro acompanha e dita tendências de sustentabilidade em suas estratégias de desenvolvimento de negócios. Essas mudanças não são meramente uma “moda passageira”. Abordagens ligadas ao “eco” têm crescido cada vez mais e estão fazendo parte do marketing e da concepção de novos negócios, envolvendo interesses dos *stakeholders*¹ para promover uma imagem de responsabilidade socioambiental.

Esse comprometimento, inicialmente “voluntário”, está se transformando em exigências por meio de indicadores, certificações e requisitos legais que demonstram a governança corporativa das empresas de vanguarda e que criam barreiras comerciais para os que não se atualizam.

A sustentabilidade tem se tornado uma estratégia defendida dentro dos empreendimentos e um fator de escolha dos consumidores. Por isso, empresas com o desejo de promover uma imagem “verde” ou ambientalmente correta têm recorrido a pesquisas de desenvolvimento de Produção Mais Limpa (P+L) e certificações internacionais voluntárias para demonstrar ao mercado consumidor sua intenção de diminuir sua pegada ambiental e controlar os impactos socioambientais de sua produção.

Inserindo em seus processos industriais medidas ambientalmente sustentáveis, que agregam valor comercial ao empreendimento e, paralelamente, geram resultados socioeconômicos positivos na diminuição do consumo de recursos naturais (energia, água, matéria-prima e insumos) e na geração de resíduos.

As conferências ambientais internacionais, principalmente as climáticas, diretamente associadas ao modelo de produção industrial hegemônico, têm causado pressão por serviços e produtos mais sustentáveis. Isso tem, paradoxalmente, influenciado verdadeiras ondas de empreendimentos que tentam se apresentar como “verdes” ou sustentáveis, praticando o que se

¹ Público estratégico, ou partes interessadas, são todas as pessoas ou “grupos de interesse” que são impactados pelas ações de um empreendimento, projeto, empresa ou negócio, por exemplo: investidores, clientes, funcionários, prestadores de serviço, concorrentes e outros.

denominou de *Greenwashing*² (lavagem verde), ações superficiais e sem real efeito positivo ao meio ambiente.

Nessa perspectiva, já não basta apresentar-se como sustentável, é preciso comprovar, por meio de ações efetivas, que todo o contexto do empreendimento, além de atender às normas ambientais, possui governança para a sustentabilidade. Exemplos dessas evidências incluem a participação nos Índices Mundiais de Sustentabilidade da Dow Jones, a aquisição de certificações como as da *International Organization for Standardization* (ISO) e indicadores nacionais da bolsa de valores brasileira, como: Índice de Sustentabilidade Empresarial (ISE), Indicador Carbono Eficiente (ICO₂), Índice de Governança Corporativa (IGCT) e Índice Brasil ESG (*Environmental, Social and Governance*).

Os relatórios de sustentabilidade das grandes organizações, divulgados anualmente, principalmente as de capital aberto, têm demonstrado, além de seus resultados financeiros, os impactos socioambientais positivos do negócio, bem como seus riscos de continuidade. O mercado tem cobrado um posicionamento das organizações e de seus representantes sobre as mudanças que causam no mundo.

Os impactos da produção industrial em larga escala estão causando efeitos globais, e não há sistema econômico que suporte esse desequilíbrio, por isso, o próprio mercado empresarial está forçando o surgimento de novos modelos de produção que considerem todos os pontos críticos ligados aos processos de produção, consumo e descarte da contemporaneidade. Processos produtivos ineficientes tendem à grande geração de resíduos, o que, atrelado à falta de monitoramento e ao baixo controle, tem criado mundialmente um passivo ambiental em ordens alarmantes.

A preocupação com esses passivos têm incentivado a busca por novos modelos de produção, que atendam às exigências internacionais e permitam conciliar a produção industrial e o controle ambiental em um nível de qualidade aceitável, a fim de evitar um colapso ambiental.

Segundo Leff (2003), a crise ecológica atual, pela primeira vez, não é uma mudança natural, é uma transformação da natureza induzida pela concepção metafísica, filosófica, ética,

² Ação de relacionar enganosamente a imagem de uma empresa, produto ou serviço à preocupação com o meio ambiente, quando, na verdade, as medidas reais não colaboram com a minimização ou solução dos impactos ambientais e, muitas vezes, as ações tomadas geram impactos negativos ao meio ambiente (ECYCLE).

científica e tecnológica do mundo. Ou seja, é uma crise de origem antrópica, e a solução deve partir desses mesmos pontos de desequilíbrio. O mercado globalizado já não suporta um modelo de produção linear que considere importante apenas a entrada de matérias-primas e a saída de produtos. Todos os fatores de interação da produção devem ser considerados na avaliação de eficiência do processo.

Essa preocupação deve começar bem antes da produção, ainda nas fases de planejamento e design dos produtos, avaliando matérias-primas que sejam menos poluentes, mais resistentes e que possuam capacidade para reinserção no processo industrial. A busca por esses modelos de produção, gerenciamento e novas tecnologias é urgente para o mercado, em decorrência da iminência da dificuldade de acesso a matérias-primas e dos efeitos nocivos do descarte de rejeitos industriais.

Novas tecnologias e metodologias de trabalho estão surgindo como oportunidades de negócios para evitar milhares de toneladas de resíduos produzidos anualmente, que, muitas vezes, não recebem um tratamento eficiente e ecologicamente correto, gerando impactos ambientais danosos.

De acordo com Alexandre Rossi (2006), novas tecnologias que busquem sustentabilidade devem abordar:

“Questões morais, questões éticas, assim como as sociais e políticas, para que as tecnologias não sejam um fim em si mesmas, mas proporcionem meios para um fim que seja de bem-estar geral. Esse bem-estar pode ser incluído no âmbito do Direito pelos chamados interesses difusos, ou seja, o conjunto das necessidades coletivas, dos bens para satisfação das necessidades e das relações desses coletivos com esses bens, além das relações de responsabilidades com respeito ao meio ambiente em que vivemos e às relações futuras.” (ROSSI, 2006).

Via de regra, no Brasil, os resíduos sólidos são de responsabilidade de seu gerador; porém, não respeitam fronteiras e nem estão diretamente ligados à nacionalidade de seus processos industriais. Podem ter matéria-prima de uma nacionalidade, serem transformados por outra, consumidos por uma terceira e descartados em um quarto território. Os resíduos, muitas vezes, não têm nem sequer pátria definida.

No caso dos resíduos eletrônicos, por exemplo, há relatos de que são exportados em contêineres para países subdesenvolvidos como equipamentos seminovos, porém sem nenhuma funcionalidade. Sem contar os resíduos plásticos que chegam ao mar, levados por correntes marítimas que formam, nos oceanos, verdadeiras ilhas de lixo flutuante.

As múltiplas características dos descartes humanos fazem dos resíduos sólidos um dos aspectos ambientais mais versáteis a se trabalhar, pois simbolicamente qualquer matéria sem “valor de uso” pode se tornar um resíduo. Nesse contexto, o debate já não pode ser superficial; ele deve ser ambiental, social, político, científico, técnico, cultural e econômico, pois esse “valor de uso” pode ser transformado de acordo com seu contexto. É urgente abolir de vez a ideologia do “lixo”, que considera os descartes das atividades humanas como rejeitos inservíveis.

Devem ser promovidas forças-tarefa comuns entre representantes governamentais, dos órgãos de fiscalização, da academia e de centros de pesquisa para a produção de legislações de controle, incentivo à valorização de resíduos, estímulos ao mercado de reciclagem e recuperação, além de informações massivas em meios de comunicação, escolas e empresas.

Na concepção de Padovani (2011), precisamos verdadeiramente transformar a visão do brasileiro sobre os resíduos. Esse não é nem de longe um processo fácil e tampouco simples, mas é necessário pôr em prática e ensinar de maneira clara o valor embutido no que está sendo descartado, uma verdadeira mudança cultural. O Brasil possui um conjunto robusto de leis e normas que determinam as metodologias para gestão e gerenciamento de resíduos, e um importante conceito abordado nesse arcabouço legal é o de rejeito: o “lixo” sem valor econômico.

“Os resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentam outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada” (BRASIL, 2010).

Conhecer os resíduos sólidos gerados por um processo produtivo é de fundamental importância para o desenvolvimento de políticas socioeconômicas e ambientais que incentivem a gestão ambiental sustentável dos processos industriais, seja ele um processo micro, como uma única linha de produção, ou um processo macro, como um polo industrial com centenas de indústrias.

É importante perceber que os resíduos sólidos possuem uma cadeia pretérita à sua geração, ainda nas linhas de produção ou mesmo na fase de planejamento e desenvolvimento (P&D), que influenciam diretamente o gerenciamento e o tratamento dado a cada classe de resíduos, devido às características das matérias-primas, insumos e dos processos industriais.

O Polo Industrial de Manaus é um grande gerador de resíduos, e conhecê-los, assim como seus processos de gerenciamento, é uma oportunidade para identificar as falhas operacionais, diminuir a geração de passivos ambientais na Amazônia e, quem sabe, criar uma oportunidade de mercado do tipo “ganha-ganha” entre as indústrias interessadas em destinar adequadamente seus resíduos, o mercado de tratamento de resíduos e a sociedade em geral. Além de identificar os pontos fracos do processo de gerenciamento de resíduos, a proposta deste estudo é promover a discussão sobre ações efetivas que possam tornar o PIM sustentável.

Uma nova perspectiva para mudar esse cenário é a Economia Circular, como uma metodologia de operação que considera as fases de pesquisa de recursos, desenvolvimento e design dos produtos como primordiais para o desenvolvimento de toda a cadeia produtiva. Desde a escolha das matérias-primas até a entrega do produto final, tudo é pensado a fim de evitar a geração de resíduos ou mesmo de incorporar resíduos disponíveis de outros processos em novos negócios. É o abandono da produção linear para o desenvolvimento de projetos cíclicos, retornáveis e recicláveis.

A Europa alavancou a Economia Circular no mundo e hoje possui alguns sistemas industriais que são exemplos de boas práticas: o parque de simbiose industrial *Kalundborg Symbiosis*, na Dinamarca, que negocia, em um sistema fechado de empresas, a compra e venda de diversos tipos de resíduos; a iniciativa francesa *Textiles Recycling Valley*, de recuperação de vestuário e fibras têxteis; a *Mud Jeans*, na Holanda, que promove a reutilização e recuperação de jeans usados, e o que não pode ser recuperado torna-se fonte de reciclagem de fibras de algodão (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015).

No Brasil, já estão sendo desenvolvidas iniciativas em menor porte por empreendedores das áreas de arquitetura sustentável, design, arte e tecnologias; porém, ainda não possuímos regulamentação ou incentivos financeiros diretos para investimentos em sistemas ligados à Economia Circular.

OBJETIVOS

A presente pesquisa doutoral teve por objetivo geral:

— Apresentar a Economia Circular como uma alternativa técnica e metodológica sustentável para a gestão integrada de resíduos sólidos industriais do PIM.

A concretização deste objetivo passou pela necessidade de alcançar os seguintes objetivos específicos:

— Contextualizar o debate sobre as interfaces teóricas e práticas da Economia Circular como um mecanismo sustentável de gestão de resíduos sólidos industriais.

— Discutir o processo de transformação de recursos naturais em resíduos sólidos industriais e as dinâmicas socioambientais que envolvem esse processo;

— Analisar o cenário de geração de resíduos do PIM e as condições existentes para a implantação de um Pólo Eco Industrial em Manaus, baseado na Economia Circular.

METODOLOGIA

Esta pesquisa é de base bibliométrica, bibliográfica e documental. O referencial metodológico que orientou esta tese é formado por um *Research Design*, um conjunto de técnicas que nos permitiu a construção do conhecimento, em um movimento permanente de integração das partes no todo, sendo o todo maior que a soma das partes.

Inicialmente, foi realizada uma pesquisa bibliográfica da produção científica sobre Economia Circular e tópicos relacionados. A bibliometria é uma ferramenta estatística que permite mapear e gerar diferentes indicadores de informação, possibilitando a observação das fontes científicas e registros acadêmicos sobre o tema para uma investigação direcionada aos estudos analíticos da produtividade em determinada área do conhecimento.

A plataforma de periódicos da CAPES, que concentra fontes de busca acadêmica, com artigos nacionais e estrangeiros, serviu de acesso para a consulta de periódicos acadêmicos. Foram consultados documentos desde o início das publicações até o ano de 2022. Na fase de coleta de dados da pesquisa, utilizamos as bases *Scopus* e *Web of Science*; estes documentos foram classificados e organizados de acordo com a possibilidade de exportação de dados.

O acesso às plataformas foi feito por meio do Portal Periódicos da CAPES (www.periodicos.capes.gov.br), liberado pela Comunidade Acadêmica Federada (Acesso CAFe) a estudantes matriculados em programas de pós-graduação. Na plataforma, buscamos por Acervo e Lista de Bases, onde consultamos nominalmente as duas plataformas, *Scopus* e *Web of Science*.

Em concomitância, foi elaborado um levantamento bibliográfico sobre a gestão de resíduos sólidos industriais, legislação e aplicação da Economia Circular. A consulta identificou os fatores de influência e contribuição para o gerenciamento dos resíduos sólidos industriais do PIM. Foram utilizados documentos acadêmicos e publicações de órgãos de regulação ligados ao Polo Industrial de Manaus entre os anos de 2017 e 2022, período de elaboração da tese.

O levantamento bibliográfico foi realizado inicialmente para perceber o contexto do tema e as diferentes abordagens sobre o assunto. A pesquisa bibliográfica é também conhecida como fonte de evidências, conforme Yin (2010), que recomenda o uso conjugado de documentos para validação da pesquisa ou o uso de múltiplos dados secundários (Ludke et al., 1986).

Utilizamos bases de documentos secundários disponibilizados pelos órgãos de regulação locais e nacionais: SUFRAMA, SINIR, IBAMA, MMA, fundações de pesquisa e outros. Foram realizadas diligências e consultas a esses órgãos. As informações coletadas serviram para caracterizar o atual cenário de operação do PIM e discutir a inter-relação entre sua manutenção e a geração de impactos ambientais provenientes da geração de resíduos industriais.

Foram levantados todos os elementos de relação direta e indireta com o gerenciamento de resíduos do PIM. Para isso, foram utilizadas as seguintes perguntas norteadoras para direcionar a pesquisa:

- Qual é o impacto da geração de resíduos sólidos industriais nas dinâmicas socioambientais e como isso afeta a sustentabilidade na região?
- Como o histórico e o cenário atual da gestão de resíduos sólidos industriais no Polo Industrial de Manaus se relacionam com a conservação da Amazônia?
- Quais são as principais bases de dados sobre a gestão de resíduos industriais no PIM, e quais atores e estruturas legais regulamentam essa gestão no Brasil e em Manaus?
- De que maneira a implementação de modelos de Economia Circular pode contribuir para a sustentabilidade do Polo Industrial de Manaus?

Como alternativa para uma produção industrial sustentável, debruçamo-nos sobre uma revisão bibliográfica para identificar conceitos e a estrutura da Economia Circular enquanto estratégia para incentivar a industrialização e, ao mesmo tempo, promover a recuperação dos resíduos industriais.

Para discutir como funciona a geração de resíduos no Polo Industrial de Manaus, consultamos os dados publicados pelo IBAMA, SINIR, SUFRAMA e outros, com dados oficiais sobre a dinâmica de operação do PIM e sua interação com o consumo de recursos naturais e a geração de resíduos. Utilizamos essas informações como fonte de discussão para a caracterização do PIM e a possibilidade de implantação de sistemas de Economia Circular.

O protocolo para mapear e analisar a produção científica identificada no levantamento bibliométrico atendeu à seguinte ordem:

— **String de Busca:** A string de busca utilizada foi formulada com base em palavras-chave relevantes ao tema, permitindo a recuperação eficaz de artigos e documentos pertinentes. As palavras-chave incluem “*Circular Economy*”, “*Industrial Waste*” e “*Sustainability*”.

— **Operadores:** foi utilizado o operador *and*, para refinar os resultados da pesquisa. A combinação de termos utilizando o operador *and* garantiu que apenas artigos que contivessem todos os conceitos-chave fossem considerados.

— **Configurações:** As configurações da pesquisa foram ajustadas para incluir apenas publicações em periódicos revisados por pares, limitando a busca a um intervalo temporal específico e a idiomas relevantes, como português e inglês.

— **Crítérios de Inclusão e Exclusão:** Os critérios de inclusão abrangeram artigos que abordassem diretamente a Economia Circular, sustentabilidade e a gestão de resíduos sólidos, publicados nos últimos dez anos. Por outro lado, foram excluídos documentos que não apresentassem relevância direta ao tema, como resenhas e artigos de opinião.

— **Método de Tratamento de Dados:** A análise dos dados obtidos foi realizada por meio da averiguação de conteúdo, permitindo uma interpretação aprofundada dos textos selecionados. O protocolo de realização da análise de conteúdo incluiu a codificação dos dados, a categorização de temas recorrentes e a identificação de padrões significativos nas publicações.

— **Validação dos Resultados:** A validação foi realizada por meio da triangulação de dados, que envolveu a comparação dos achados da análise bibliométrica com dados qualitativos obtidos na pesquisa bibliográfica sobre o estado da arte da Economia Circular. Essa abordagem garantiu uma maior robustez e credibilidade aos resultados encontrados.

— **Research Design:** O fluxo da pesquisa foi estruturado em etapas sequenciais, começando pela definição do problema de pesquisa, seguida pela formulação da string de busca, coleta de dados, análise de conteúdo e, finalmente, a triangulação dos dados para validação dos resultados.

Este delineamento metodológico possibilitou um aprofundamento significativo no entendimento das tendências e lacunas existentes na literatura sobre sustentabilidade e gestão de resíduos sólidos, fornecendo uma base sólida para a discussão dos resultados obtidos.

CAPÍTULO 1

ECONOMIA CIRCULAR: UMA ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS

Frente à iminente crise ambiental global relacionada à incapacidade humana de manter o elevado padrão de consumo de recursos naturais e, ao mesmo tempo, descartar a totalidade dos resíduos no meio ambiente, a manutenção do padrão linear de produção, caracterizado pelo consumo de materiais e energia, no modelo de economia humana, denominado *Cradle-to-Grave*³, torna-se a cada dia mais insustentável (McDONOUGH e BRAUNGART, 2002).

Essa questão pode ser analisada tanto do ponto de vista ambiental — pela pressão imposta ao meio biofísico pelo consumo de recursos naturais e pelo descarte de resíduos — quanto do ponto de vista econômico — em virtude do desperdício de matéria-prima, energia e água que poderiam ser reaproveitados, mas que são descartados, gerando ônus aos processos.

Gradativamente, as estruturas de gestão ambiental industrial têm buscado ações mais efetivas em relação à gestão sustentável de recursos naturais e resíduos, trabalhando com uma nova significância e valoração para os resíduos sólidos. Esses resíduos são considerados como materiais de segunda linha ou subprodutos dos processos industriais, que devem ser avaliados economicamente e precificados como recursos.

Essa incorporação dos resíduos na avaliação econômica e ambiental dos processos produtivos é denominada Economia Circular; essa transição de padrão produtivo não é simples e requer investimentos massivos em pesquisa e tecnologia (ANDERSEN, 2006).

A Economia Circular, como sistema de gestão, está embasada na proposta de que os processos industriais devem ser planejados e desenvolvidos a fim de evitar ou reduzir ao máximo a geração de resíduos. Para aqueles que não possam ser evitados, é necessário desenvolver tecnologias de reaproveitamento no processo de origem ou em outras fases da cadeia produtiva, incorporando os refugos dos processos industriais para que sejam reintroduzidos nos mesmos e não descartados.

³ *Cradle-to-Grave*, termo desenvolvido para descrever um modelo de produção que não considera a saúde dos sistemas naturais, nem a consciência de sua delicadeza, complexidade e interconexão na agenda do design industrial. Em sua base mais profunda, a infraestrutura industrial do berço ao túmulo é linear: está focada em fazer um produto e levá-lo ao cliente de forma rápida e barata, sem considerar muito mais.

Um sistema de retroalimentação que faz o resíduo retornar ao início do processo, do berço ao berço, conforme definido por McDonough e Braungart (2002) no conceito de *Cradle-to-Cradle* (C2C), uma abordagem que vê o descarte de resíduos como “recurso, alimento ou nutriente” para o que está por vir. Este sistema visa apoiar simultaneamente a biosfera e a tecnosfera, gerando benefícios socioambientais e evitando o desperdício de matéria-prima.

“*Cradle to Cradle* é uma ‘estratégia de suporte’. Há uma vantagem competitiva no *Cradle to Cradle* porque qualquer empresa que adote a abordagem mostra-se ambiciosa e voltada para a pesquisa.” (McDONOUGH e BRAUNGART, 2002).

A metodologia do *Cradle to Cradle* aplica a lógica circular da natureza aos sistemas industriais e humanos, considerando que, para além de reduzir os impactos negativos, é necessário criar processos saudáveis que eliminem o desperdício, maximizem o uso de recursos renováveis e estimulem a diversidade local.

Trata-se de uma estratégia que muda o *modus operandi* mundialmente empregado desde a Revolução Industrial, que se baseia em extrair, produzir e descartar (*take-make-dispose*). Propõe um novo paradigma para a gestão dos resíduos industriais: o de reinserir. Os benefícios socioeconômicos e ambientais da Economia Circular têm oportunizado debates importantes sobre o modelo de produção industrial que poderá ser adotado mundialmente em busca da sustentabilidade, diante dos riscos de crise ambiental.

A sustentabilidade requer ação e busca por tecnologias disruptivas que integrem desenvolvimento econômico e ambiental, o que se torna atualmente urgente. De acordo com Leff (2001), a sociedade como um todo está em crise, não por causas naturais, mas por questões de ordem tecnológica, ética, política, econômica e até mesmo social, que podem ser interpretadas como advindas do modelo de processo e consumo da população. Além dos danos locais ocasionados pelas crises climáticas, que têm afetado o preço das commodities internacionalmente, os impactos globais têm alcançado as linhas de produção mais distantes dos grandes centros de produção mundial, como é o caso do Polo Industrial de Manaus, situado no meio da Amazônia, objeto de análise desta pesquisa.

1.1 ROADMAP DA ECONOMIA CIRCULAR

Mundialmente, países avançados em relação ao gerenciamento de resíduos, como China, Japão, Reino Unido, Chile, França e outros pertencentes à União Europeia, têm investido na inovação de suas linhas de produção, com sistemas de ciclo fechado ou circulares. Nesses sistemas, os resíduos são caracterizados como parte integrante dos processos e contabilizados como fatores de influência desde as fases de Planejamento e Desenvolvimento (P&D).

Nesses casos, o tratamento de resíduos é praticamente considerado uma fase da produção, e todos os esforços são voltados para evitar sua geração. Para isso, são incorporadas à análise dos processos industriais as tecnologias necessárias para o uso eficiente de recursos e matérias-primas, além de infraestruturas de gestão para coleta, reaproveitamento, beneficiamento, transporte, tratamento e destinação final dos resíduos não evitados nas fases anteriores, incluindo também ações de educação ambiental entre os envolvidos.

Modelos de produção circulares consideram os limites planetários dos recursos naturais, indo além da proposta clássica linear de reduzir, reutilizar e reciclar. Essa abordagem evoluiu para um conceito sistêmico e dinâmico, fundamentado em um modelo de desenvolvimento econômico baseado em fluxos alternativos, capazes de sustentar a produção industrial e garantir condições adequadas de qualidade ambiental.

Esse debate começou nos anos 1980 com a Produção Mais Limpa (P+L), voltada para controlar os impactos ambientais da produção industrial. Os sistemas de Produção Mais Limpa foram desenvolvidos pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) em 1989 e passaram a fazer parte das avaliações de produção, com o objetivo de minimizar, controlar e destinar adequadamente os resíduos gerados em uma linha de produção.

Com a aplicação dessa metodologia, passaram a ser considerados no processo produtivo fatores que eram inicialmente insignificantes ou desconhecidos do ponto de vista econométrico, como o consumo de matérias-primas, energia e água, desperdícios de materiais, eficiência e resíduos finais.

A Produção Mais Limpa é entendida como a aplicação continuada de uma estratégia preventiva integrada a processos, produtos e serviços, com o objetivo de reduzir os riscos para a saúde humana e para o ambiente, além de proporcionar benefícios econômicos para as empresas (PNUMA, 1989).

Esse foi um primeiro passo para os chamados processos em ciclo fechado, nos quais os resíduos se tornam um dos aspectos relevantes da produção e passam a ser contabilizados como influências econômicas dessa produção. Nesses casos, o tratamento ou a destinação final dos resíduos é praticamente uma fase integrada ao próprio processo industrial. A recuperação dos resíduos, em geral, é uma proposta já bastante difundida pela reciclagem, um sistema de tratamento voltado à recuperação de matéria-prima descartada durante o processo produtivo ou após o consumo (HANDBOOK OF RECYCLING, 2014).

As chamadas tecnologias *Cradle-to-Grave*, que propunham um descarte mais digno para os rejeitos da produção industrial ou menos agressivo ao ambiente (BRAUNGART et al., 2007), refletem o avanço das pesquisas sobre a finitude dos recursos ambientais. Assim como a necessidade incansável de manter a produção industrial para alimentar o mercado de consumo, essas tecnologias demandam constantemente alternativas mais eficientes, especialmente porque a reciclagem ainda apresenta limites para absorver parte dos resíduos.

“Ao contrário da reciclagem tradicional, a abordagem prática da Economia Circular é orientada para políticas e negócios, enfatizando a reutilização de produtos, componentes e materiais, remanufatura, reforma, reparo, cascata e atualização, bem como a utilização de energia solar, eólica, biomassa e derivada de resíduos em toda a cadeia de valor do produto e no ciclo de vida do berço ao berço.” (KORHONEN et al., 2018).

Para Korhonen et al. (2018), o tempo de vida dos recursos dentro dos sistemas circulares deve ser maximizado. Os materiais devem ser primeiramente recuperados para reutilização, reforma e reparo; em seguida, para remanufatura; e só então para a utilização como matéria-prima, que tem sido o foco principal da reciclagem tradicional. A incineração para geração de energia deve ser a penúltima opção, e o uso de aterros sanitários, a última. Dessa forma, a cadeia de valor e o ciclo de vida do produto retêm o maior valor e qualidade possíveis pelo maior tempo possível. O autor vê na Economia Circular uma oportunidade de negócio que contribui para o crescimento econômico mundial, com ganhos da ordem de bilhões de dólares anuais.

A Economia Circular fundamenta-se em modelos da natureza para desenvolver sistemas complexos que se complementam, mantendo o equilíbrio necessário para alcançar a sustentabilidade. Entre esses modelos destaca-se a Biomimética, que, segundo Benyus (2002), consiste na imitação dos modelos, sistemas e elementos da natureza com a finalidade de resolver problemas humanos complexos, desde que de forma sustentável.

A ideia é que a natureza, mesmo com toda a sua complexidade, oferece respostas simples aos desafios enfrentados pela sociedade. Dessa forma, Benyus defende que os sistemas

industriais possuem complexidade análoga aos sistemas ambientais que se autorregulam por meio da reabsorção de nutrientes.

Na natureza, segundo a Lei da Conservação das Massas de Antoine Lavoisier (1785), “Nada se cria, nada se perde, tudo se transforma.” Essa transformação, para Benyus, é a base da Economia Circular, que busca a recuperação de matérias-primas por meio da resiliência dos sistemas. O que é considerado um resíduo em um sistema simples pode ser visto como um recurso em outro sistema mais complexo. Assim como na natureza não existem resíduos — uma vez que as sobras biodegradáveis são reabsorvidas nos ciclos biogeoquímicos —, na Economia Circular, os resíduos podem retroalimentar a produção industrial até sua completa degradação.

As primeiras bases teóricas da Economia Circular foram definidas pelas pesquisas de Walter R. Stahel, em 1982, no artigo *The Product-Life Factor*, no qual descreveu um circuito fechado para abordar o impacto de uma economia linear em termos de eficiência de recursos, prevenção de resíduos, criação de empregos e o papel da inovação, ao defender a extensão da vida útil dos bens.

“A vida útil do produto, ou o período durante o qual os produtos e mercadorias são usados, governa sua velocidade de substituição; portanto, o consumo de recursos naturais necessários para sua fabricação e a quantidade de resíduos que eles criam. A redução da vida útil do produto aumenta a demanda por bens de reposição, onde estes podem ser oferecidos, otimiza a vida útil total dos bens e reduz o esgotamento dos recursos naturais e, consequentemente, o desperdício; ela se baseia e aumenta a riqueza. Uma utilização mais prolongada dos produtos contribuirá, assim, para a transição para uma sociedade sustentável.” (STAHHEL, 1982).

Stahel (1982) descreveu a produção em sistema linear e propôs, pela primeira vez, um modelo de produção que apresentava propostas de reutilização, reparação, renovação e reciclagem que, ao serem aplicadas nas economias industrializadas, promoveriam melhorias nos processos. Sua pesquisa nos anos 1980 apresentou três modelos de produção baseados no consumo de recursos, produção e descarte.

O modelo de Stahel foi o primeiro a descrever sistemas circulares de produção que integram parte dos resíduos às matérias-primas virgens na produção industrial, sendo precursor para o desenvolvimento de pesquisas em Economia Circular em sistemas de produção e manufatura. Suas publicações incorporaram a preocupação com a disponibilidade de recursos naturais para os processos industriais e com a geração de descarte de resíduos.

O autor considerou que os componentes de um bem material possuem composição química e características físicas distintas, fatores de qualidade e de design que influenciam diretamente a vida útil do produto. Quando o elemento mais frágil do produto se danifica, perde-se o bem e este é descartado.

No primeiro modelo, denominado Sistema de Substituição Rápida, os resíduos são desprezados pela produção. O objetivo desse processo é a rápida entrega do produto, caracterizando-se pelo alto consumo de matéria-prima e energia. Os produtos possuem vida útil de acordo com as características de seus componentes: quanto mais frágeis forem as matérias-primas, mais rapidamente se tornarão resíduos e serão descartados. Esse sistema pode ser representado pelos resíduos descartáveis, com produção rápida e vida útil curta, o que atualmente denominamos produção linear.

O segundo modelo, chamado de Sistema de Substituição Lenta, busca prolongar a vida útil dos produtos, promovendo maior eficiência no uso das matérias-primas e da energia, com foco na qualidade da produção. Esses processos são mais criteriosos e demonstram preocupação com a diminuição do consumo de recursos e com a redução do descarte de resíduos. Um exemplo desses processos são os eletrodomésticos, que apresentam longa durabilidade e se tornam cada vez mais eficientes e modernos.

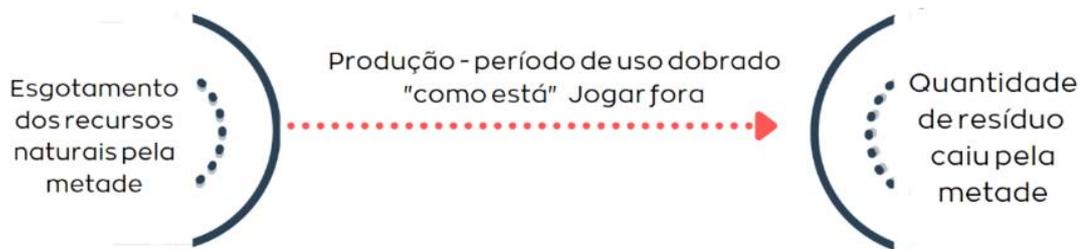
O terceiro modelo, que inspirou os debates sobre a circularidade dos recursos, é o Sistema de Reabastecimento Automático. Este é o modelo mais complexo desenvolvido por Stahel, focado na extensão da vida útil dos produtos até que estes não possam mais ser recuperados. A Figura 1 demonstra os três diferentes sistemas descritos por Stahel.

Figura 1: Modelos de produção descritos por Walter R. Stahel, em 1982.

SISTEMA DE SUBSTITUIÇÃO RÁPIDA



SISTEMA DE SUBSTITUIÇÃO LENTA



SISTEMA DE REABASTECIMENTO AUTOMÁTICO



Elaboração: Adaptado por Meireles, 2022.

O autor considerava que os fluxos de produção podem incorporar os resíduos em ciclos internos menores e, assim, prolongar o tempo de existência dos recursos naturais antes de se tornarem resíduos. Esse sistema, representado por processos internos de recuperação de resíduos por meio da reciclagem, configura-se, de maneira macro, como um sistema de Economia Circular.

Atualmente, a proposta de prolongar a vida útil das matérias-primas nos processos industriais ou após o consumo está definida em metodologia internacional. Essa metodologia inclui a avaliação das entradas e saídas (de matéria e energia) e dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo de seu ciclo de vida, desde a produção até o descarte, conforme estabelecido pela NBR ISO 14.040:2009 — Princípios e Estruturas de uma Avaliação de Ciclo de Vida. Essa metodologia é amplamente utilizada para descrever os estágios consecutivos e encadeados de um sistema de produto, desde a aquisição da matéria-prima ou sua geração a partir de recursos naturais até a disposição final. Essa abordagem permite avaliar os impactos ambientais decorrentes de um produto desde o início de sua fabricação até o fim de sua vida útil ou descarte.

Assim, realiza-se um mapeamento que descreve o fluxograma dos processos, especificando entradas e saídas de materiais e energia no processo de manufatura. Esse mapeamento contabiliza o uso e o descarte de matérias-primas, insumos, energia, água, emissões do processo e transporte, além dos resíduos associados à produção e ao pós-consumo (LEITE, 2009). Posteriormente, é realizado um balanço de massa e energia, em que os fluxos de entrada devem ser equivalentes aos fluxos de saída, quantificados como produtos e resíduos.

A metodologia de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) é uma abordagem holística que busca quantificar todos os fluxos de massa e energia envolvidos, desde a extração das matérias-primas, passando pela produção, transporte e distribuição, até o consumo e a disposição final (EPA, 1993). De acordo com a ISO 14.040 (2009), o método define-se como o conjunto de compilação e avaliação de entradas, saídas e potenciais impactos ambientais de um produto ao longo de seu ciclo de vida, desde a extração de recursos naturais até os limites da empresa (do berço ao portão), ou desde a extração até o descarte final (do berço ao túmulo). Dados como esses auxiliam as empresas na avaliação e reformulação de seus produtos e processos, com o objetivo de identificar e mitigar seus impactos ambientais e de formular produtos mais eficientes e recuperáveis.

Com essas avaliações, as empresas têm a oportunidade de oferecer ao mercado produtos com uma pegada ambiental cada vez menor e associar suas marcas a uma imagem ambientalmente amigável, o que tem influenciado consideravelmente o mercado em busca de artigos e produtos mais sustentáveis. Com o uso estratégico da ACV, as indústrias obtêm acesso a informações sobre todo o ciclo do berço ao túmulo de seus produtos, tendo a oportunidade de identificar melhorias no produto ou no processo, bem como de analisar outros sistemas industriais que possam absorver ou tratar os resíduos dessa produção.

Em 1986, Jeremy Bulow, no artigo *Uma Teoria Econômica da Obsolescência Programada*, avaliou a ineficiência do modelo de produção industrial, estrategicamente construído para gerar resíduos. A obsolescência programada, descrita pela primeira vez por Bernard London em 1932, foi uma estratégia de mercado difundida entre as décadas de 1930 e 1940 para incentivar o consumo de bens com baixo tempo de vida útil, forçando os clientes a realizar compras repetidas, o que acarretaria a rápida necessidade de substituição do bem e a constante produção.

A proposta era que “novos produtos estivessem constantemente saindo das fábricas e mercados, para tomar o lugar do obsoleto, e as rodas da indústria seriam mantidas em funcionamento, garantindo emprego regularizado para as massas” (LONDON, 1932). London propôs um modelo econômico que determinasse um prazo de validade para bens comuns, como vestuário, carros e equipamentos agrícolas, de modo que, após o término desse prazo, o bem fosse descartado ou entregue ao governo.

Nas décadas de 1960 e 1970, o cenário internacional de debate sobre desenvolvimento e preservação ambiental trouxe à tona a incapacidade de manter as condições de vida no planeta com base em um modelo de crescimento exponencial. Tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental, percebeu-se o contrassenso de incentivar o consumo e o descarte acelerado de recursos: a produção industrial e a qualidade ambiental tornaram-se insustentáveis. Surgiu, então, o conceito de Desenvolvimento Sustentável, formulado pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (1988), preocupada em prolongar a disponibilidade dos recursos naturais conhecidos para as futuras gerações.

Nos anos 1990, os economistas ambientais britânicos Pearce e Turner (1989), baseados na primeira lei da termodinâmica — de trocas e perdas de energia —, determinaram que, assim como na física, os sistemas fechados conservam e reaproveitam energia. Utilizaram uma

abordagem da economia dos recursos naturais e da economia ambiental para fornecer uma visão abrangente sobre os problemas ambientais globais.

Segundo os autores, o objetivo da aplicação do desenvolvimento sustentável é maximizar os benefícios líquidos do desenvolvimento econômico, mantendo os serviços e a qualidade dos recursos naturais ao longo do tempo. No livro *Economia dos Recursos Naturais e do Meio Ambiente* (1989), eles definem Economia Circular como:

“Uma caracterização de como bens e serviços podem ser produzidos e consumidos de forma ecologicamente correta e ambientalmente sustentável, atendendo às preocupações de uso excessivo de recursos, gestão de resíduos e alterações climáticas, nomeadamente através da interligação consciente de atividades econômicas díspares” (PEARCE e TURNER, 1989).

A aplicação de uma perspectiva ambiental passou a ser considerada nas avaliações econômicas dos processos produtivos, observada pela Economia Ambiental, pela Ecologia Industrial e pela teoria da Complexidade Ambiental, entre outros ramos que evidenciaram a incapacidade de sustentação a longo prazo do modelo linear de produção. Para manter a continuidade de uma sociedade baseada na industrialização, os sistemas de produção deveriam ser convertidos em sistemas fechados, capazes de conservar os recursos e matérias-primas empregados nos seus processos (BIWEI et al., 2013).

O modelo de produção baseado na Economia Circular sintetiza diversas escolas de pensamento importantes, incluindo a economia de performance de Walter Stahel; a filosofia de design *Cradle to Cradle* de William McDonough e Michael Braungart; a ideia de biomimética articulada por Janine Benyus; a ecologia industrial de Reid Lifset e Thomas Graedel; o capitalismo natural de Amory e Hunter Lovins; e a abordagem da *Blue Economy*, descrita por Gunter Pauli [Tradução nossa] (MACARTHUR FOUNDATION, 2015).

As definições de Economia Circular são numerosas e acabam por se confundir com outros conceitos, como Economia Verde e Crescimento Verde (PNUMA, 2011; PNUMA, 2012), que também tratam da recuperação de resíduos e matérias-primas. De acordo com Kirchherr et al. (2017), existem mais de 114 definições diferentes, algumas delas ambíguas e metodologicamente sobrepostas.

A construção do conceito e o desenvolvimento de sistemas operacionais de Economia Circular tiveram contribuições de várias fontes, reunidas por Korhonen et al. (2018), que realizaram um levantamento dessas áreas:

“Ecologia industrial (Frosch e Gallopoulos, 1989; Graedel, 1996; Lifset e Graedel, 2001); ecossistemas industriais (Jelinski et al., 1992) e simbioses industriais (Chertow e Ehrenfeld, 2012); produção (Stevenson e Evans, 2004), incluindo revisões sobre os fluxos de materiais circulares dos sistemas de manufatura e desenvolvimentos para esse fim (Lieder e Rashid, 2016); sistemas produto-serviço (Tukker, 2015);

ecoeficiência (Huppés e Ishikawa, 2009; Welford, 1998a; Haas et al., 2015); design berço-a-berço (Braungart et al., 2007; Braungart e McDonough, 2002; McDonough e Braungart, 2003); biomimética (Benyus, 1997; Benyus, 2003); a resiliência dos sistemas socioecológicos (Folke, 2006; Crépin et al., 2012); a economia do desempenho (Stahel, 2010; Stahel, 2006; EMAF, 2013); o capitalismo natural (Hawken et al., 2008); o conceito de emissão zero (Pauli, 2010) e outros” (KORHONEN et al., 2018).

Para García-Barragán et al. (2019), a melhor forma de definir Economia Circular é em função de uma métrica, partindo de um fluxo de materiais e de um sistema de valores igualmente bem definidos. Os autores utilizam um modelo matemático que considera a Economia Circular como um sistema circular, no qual existem fluxos ideais de materiais, cuidadosamente construído com métricas que medem a atividade linear e de reciclagem da economia, calculando a economia linear, a economia circular e o crescimento econômico circular.

A Economia Circular refere-se ao caráter industrial da economia, caracterizada como auto sustentável, baseada em energia renovável, minimizando o uso e a geração de substâncias tóxicas e reduzindo o desperdício por meio da implementação dessas medidas já na etapa de projeto (BRAUNGART et al., 2007).

A escolha por modelos de produção circulares já não é apenas uma opção individual das empresas, mas uma exigência crescente de diferentes *stakeholders*, com poder de decisão nos negócios. Os empreendimentos que se apresentam como sustentáveis precisam demonstrar suas estratégias de sustentabilidade e ações concretas de mudança de postura em seus processos, exigindo também que toda a sua cadeia de fornecedores e parceiros adotem práticas igualmente sustentáveis.

Suárez-Eiroa et al. (2019) defendem sete princípios operacionais para a Economia Circular: 1) ajuste de insumos ao sistema para taxas de regeneração; 2) ajuste das saídas do sistema para taxas de absorção; 3) fechamento do sistema; 4) manutenção do valor dos recursos dentro do sistema; 5) redução do tamanho do sistema; 6) design para a Economia Circular; e 7) educação para a Economia Circular.

Segundo os autores, para que a Economia Circular saia do campo teórico e seja efetivamente aplicada no mercado industrial, é necessário que seja implementada de forma simples, padronizada e com resultados claros nos processos produtivos.

Diante da instabilidade e dos riscos de indisponibilidade de matérias-primas e insumos necessários à produção, a Economia Circular propõe bases sólidas para o desenvolvimento de novos produtos e vantagens competitivas, com foco na recuperação eficiente de materiais que, de outra forma, seriam descartados. Trata-se da valorização contínua dos recursos naturais enquanto houver capacidade de recuperação.

A Comissão Europeia, por meio do Programa de Desperdício Zero para a Europa (COMISSÃO EUROPEIA, 2014), iniciou uma transição do atual modelo econômico para um modelo circular, com o objetivo de gerar ganhos econômicos anuais de 600 bilhões de euros por meio da recuperação de matéria-prima oriunda de resíduos. Nesse novo contexto de produção, o interesse pela recuperação de resíduos cresce, e aquilo que antes representava um problema ambiental ou um custo para as empresas passa a ter valor de mercado agregado. Esse movimento evita o descarte inadequado dos resíduos na natureza e prolonga a vida útil da matéria-prima, reduzindo a pressão sobre o meio biofísico para a extração de novos recursos naturais.

Países como Alemanha e China foram pioneiros em desenvolver projetos e legislações sobre Economia Circular. Em 1996, a Alemanha publicou a lei Ciclo Fechado de Substâncias e Lei de Gestão de Resíduos, que previa a gestão e o tratamento de resíduos em ciclos controlados, evitando a perda de materiais (BIWEI et al., 2013). Na China, devido à intensa necessidade de energia para sustentar seu crescimento econômico industrial, o foco inicial foi na recuperação energética, culminando com a adoção da lei para a Economia Circular em 2008 (CIRAIG, 2015).

Mais recentemente, em 2021, a Argentina publicou a *Ley Marco de Economía Circular*, com o objetivo de implementar mecanismos concretos de adaptação, mitigação e resiliência às alterações climáticas, promovendo a adoção gradual de uma economia de baixo carbono e maximizando a eficiência e responsabilidade energética e de recursos na produção e no consumo, além de reduzir a obsolescência e o desperdício de recursos (ARGENTINA, 2021).

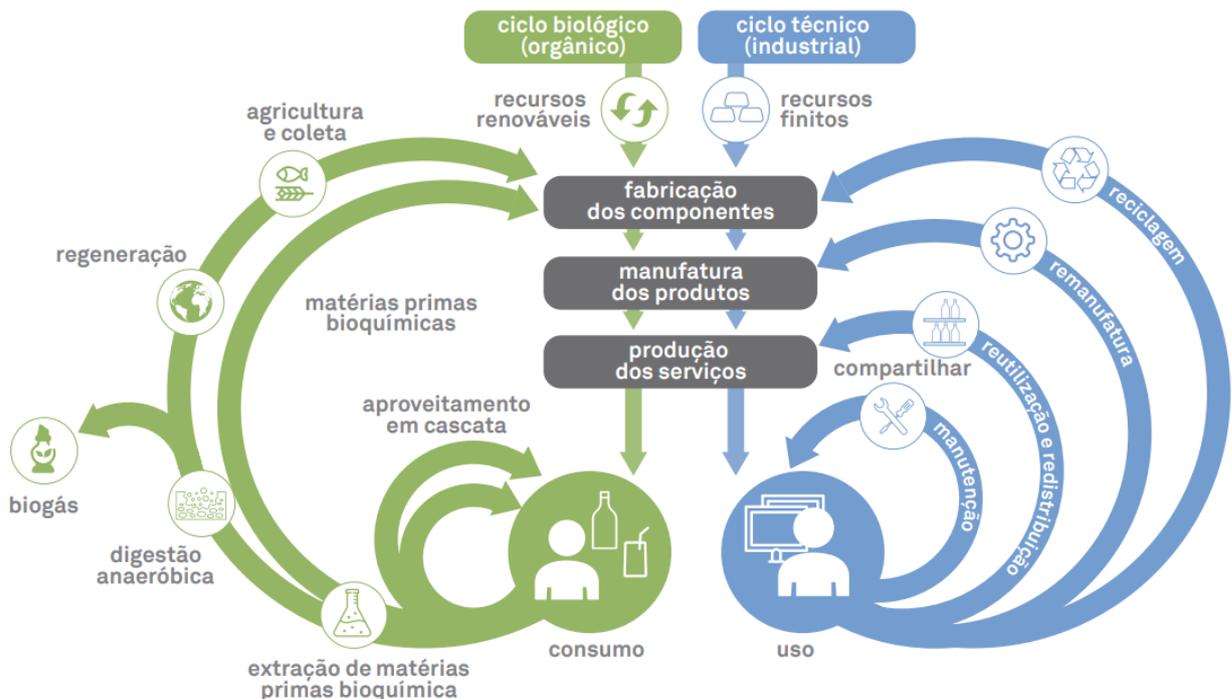
Nessa evolução de bases legais internacionais que incentivam e regulam a Economia Circular, o Brasil tem arrastado o debate desde a promulgação da Política Nacional de Resíduos Sólidos, em 2010, e até 2022 não possuía nenhuma legislação ambiental específica sobre o tema.

Atualmente, o maior centro de pesquisas voltadas à Economia Circular é a Fundação Ellen MacArthur, criada em 2010 com a missão de acelerar a transição rumo a uma Economia Circular. Trabalhando com empresas, governos e universidades, a fundação busca construir uma economia regenerativa e restaurativa desde o princípio. Por possuir um contexto dedicado a pesquisas acadêmicas e práticas operacionais, com resultados eficientes e amplamente difundidos, o conceito que fundamenta esta tese é:

“Restaurativa e regenerativa por design, (...) [que] visa manter produtos, componentes e materiais em sua maior utilidade e valor. O conceito (...) é um ciclo de desenvolvimento positivo contínuo que preserva e aumenta o capital natural, otimiza a produção de recursos e minimiza os riscos do sistema, gerenciando estoques finitos e fluxos renováveis” [Tradução nossa] (MACARTHUR FOUNDATION, 2015).

O ciclo envolve a gestão técnica de estoques de materiais finitos, nos quais o reuso substitui o consumo de matérias-primas virgens, e os materiais são continuamente recuperados e restaurados em um ciclo técnico (MACARTHUR FOUNDATION, 2012). A Figura 2 demonstra a representação gráfica do modelo de Economia Circular defendido pela fundação, conhecido como diagrama da borboleta, que apresenta dois fluxos de operação: o biológico (degradação biológica dos nutrientes para regenerar a natureza) e o tecnológico (reuso, reparo, remanufatura e reciclagem), ambos com condições para a circularidade de seus componentes.

Figura 2: Diagrama sistêmico da Economia Circular.



Fonte: Ellen MacArthur Foundation, 2019.

O diagrama da borboleta explora as possibilidades de absorção de matérias-primas e resíduos em dois ciclos distintos: técnico e biológico. Cada um desses ciclos incorpora elementos específicos em várias fases, com o objetivo de estender os ciclos de vida dos produtos, diminuir o descarte precoce de recursos e recuperar resíduos.

O ciclo biológico reincorpora o uso de materiais biodegradáveis. Mesmo quando não apresentam mais valor econômico, os resíduos orgânicos retornam à biosfera como nutrientes, auxiliando na recuperação da saúde e da fertilidade do solo. Isso é feito a partir de tecnologias simples e eficazes de decomposição, como a compostagem e a biodigestão.

No ciclo tecnológico, voltado principalmente para produtos industrializados e resíduos inertes, destaca-se que a reciclagem ocupa a última opção de circularidade, sendo aplicada apenas após esgotarem-se as alternativas de uso e recuperação do produto conforme suas condições originais. Esse modelo difere dos processos lineares, nos quais a reciclagem é considerada a melhor alternativa possível para a destinação dos resíduos.

O modelo defendido pela Fundação Ellen MacArthur parte de três princípios básicos inspirados no design: eliminar resíduos e poluição; circular produtos e materiais; e regenerar a natureza. Trata-se de um modelo econômico aplicado por indústrias, governos e organizações, no qual o valor da matéria-prima é mantido ou recriado pela durabilidade e/ou reutilização dos produtos, desconectando o crescimento econômico do uso exploratório dos recursos naturais.

Em 2015, a Comissão Europeia apresentou o projeto Fechando o Ciclo: Plano de Ação da União Europeia para a Economia Circular e propostas de legislação com o objetivo de transformar lixo em matéria-prima. Essa transição para uma Economia Circular visa reter o valor dos produtos, materiais e recursos na economia pelo maior tempo possível, minimizando a geração de resíduos. Trata-se de uma oportunidade de transformar a economia, criando vantagens socioeconômicas e ambientais (COMISSÃO EUROPEIA, 2015).

Com esse conceito sistêmico e dinâmico, o interesse pela recuperação de matérias-primas cresce. Os resíduos, que antes representavam um problema ou um custo para as empresas, passam a ter valor de mercado, o que prolonga a vida útil da matéria-prima e diminui a pressão sobre os recursos naturais.

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável — Agenda 2030, publicados pela Organização das Nações Unidas em 2015, representam um dos principais indicadores utilizados por instituições públicas e privadas para medir o desempenho socioambiental de seus processos.

Esse conjunto é composto por 17 objetivos e 169 metas, que envolvem temáticas diversificadas relacionadas a direitos humanos e sustentabilidade.

O Objetivo 12, especificamente, trata do compromisso em assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis. Transversalmente, aborda a gestão sustentável de resíduos e a circularidade, com metas que se comprometem a: alcançar o manejo ambientalmente saudável dos produtos e resíduos ao longo de todo o ciclo de vida; e reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso (ONU, 2015).

A construção do conhecimento teórico e técnico sobre a Economia Circular está em constante evolução. A publicação de pesquisas acadêmicas e legislações sobre o tema tem contribuído para a implantação de novos sistemas em processos industriais ao redor do mundo. No Brasil, o Projeto de Lei nº 1874/2022 encontra-se em tramitação no Senado Federal, visando à aprovação da Política Nacional de Economia Circular (PNEC). A aprovação deste projeto favorece o desenvolvimento de novas políticas públicas de incentivo ao consumo consciente e à recuperação de matérias-primas. A Figura 3 representa alguns dos principais marcos regulatórios que contribuíram para a Economia Circular.

Figura 3: Marcos da Economia Circular.



Elaboração: Vanessa Meireles, 2023.

Percorridos os diversos conceitos discutidos e sua inter-relação com outras áreas das ciências ambientais, apresentamos a contribuição desta pesquisa para o estado da arte sobre Economia Circular, um conceito alinhado com o contexto do Polo Industrial de Manaus.

A Economia Circular é um sistema de gestão econômica e ambiental que considera os fatores de interação diretos e indiretos da geração de resíduos em processos produtivos, com foco no uso eficiente de recursos, na valorização econômica de subprodutos, no controle de riscos ambientais e no respeito às características regionais do local de operação.

1.2 LEVANTAMENTO BIBLIOMÉTRICO

Com a diversidade de definições sobre Economia Circular e sua aplicação em diferentes áreas, sentimos a necessidade de avaliar o conteúdo da produção científica sobre o tema, a fim de colaborar com o *roadmap* correspondente. Assim, elaboramos um levantamento bibliométrico de toda a produção científica publicada em bases de pesquisa acadêmica sobre Economia Circular.

A pesquisa inicial identificou 8.509 documentos nas plataformas *Scopus* (4.806) e *Web of Science* (3.703), sendo que alguns desses documentos estavam disponíveis em ambas as plataformas, o que gerou duplicidade. Dessa forma, optamos por desconsiderar os dados da *Web of Science* e seguir com a coleta exclusivamente pela *Scopus (Elsevier)*, que apresentou maior volume de publicações, totalizando 4.806 documentos.

Para compreender o contexto das publicações sobre o tema, realizamos inicialmente uma avaliação quantitativa do número de documentos científicos publicados e, posteriormente, uma análise qualitativa das definições de Economia Circular encontradas.

Criamos um sistema com três filtros (Tabela 1), relacionados respectivamente à Economia Circular, Resíduos Industriais e Sustentabilidade (nesta ordem), para orientar o levantamento de dados. Como resultado, obtivemos informações sobre títulos, resumos, autores, países, temas, datas de publicação, afiliações, entre outros. Os termos foram pesquisados em língua inglesa, por ser o idioma com maior difusão nas publicações científicas.

Tabela 1: Filtros para consultas bibliométricas nas plataformas na *Scopus*.

FILTROS APLICADOS		Nº DE DOCUMENTOS
Scopus 1 2004 - 2022	Título, resumo e palavras-chave: “Circular Economy” e Título: “Circular Economy” e Palavra-chave: “Circular Economy”	4.806
Scopus 2 2011 - 2022	Título, resumo e palavras-chave: “Circular Economy” e Título: “Industrial Waste”	207
Scopus 3 2011 - 2022	Título, resumo e palavras-chave: “Circular Economy” e Título: “Industrial Waste” e Palavras-chave: “Sustainability”	21

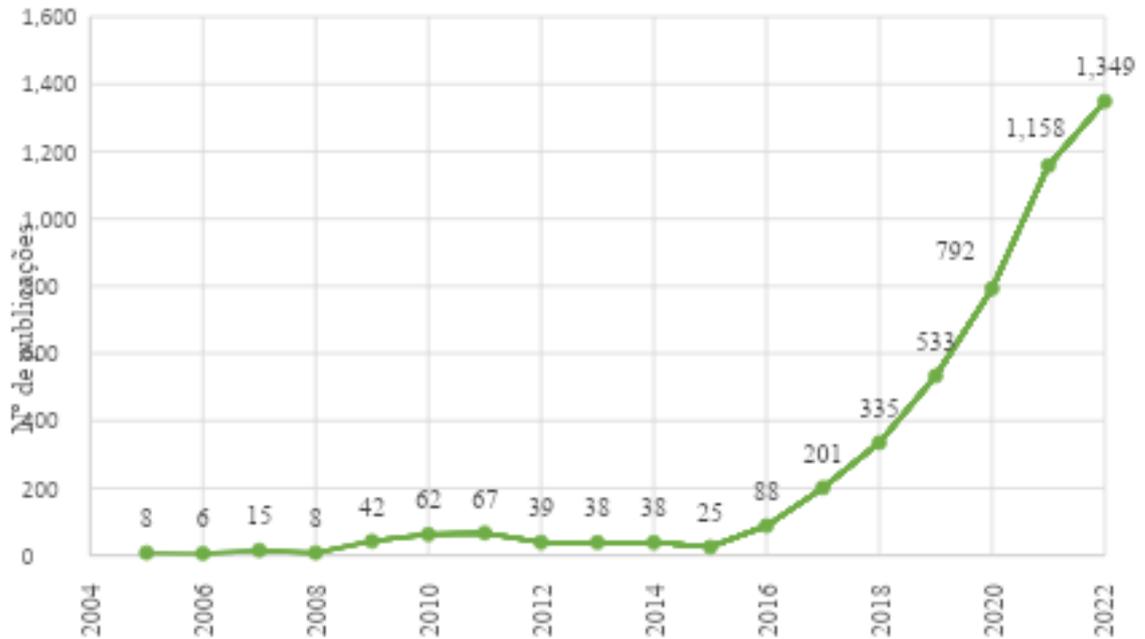
Elaboração: Meireles, 2022.

Os resultados obtidos foram exportados em arquivos no formato CSV para análise no programa *VOSviewer* (www.vosviewer.com), que permite a criação de diferentes filtros para geração de diagramas em modelos variados. Paralelamente, os dados foram utilizados para a elaboração de planilhas e gráficos no Microsoft Excel, com o objetivo de compor o histórico da produção científica sobre o tema.

A plataforma *Scopus* (*Elsevier*) é atualmente a maior fonte de comunicação científica internacional acessada no Brasil, sendo amplamente utilizada para a publicação e consulta de documentos acadêmicos. Nesse contexto, identificamos 4.806 resultados (filtro Scopus 1) de documentos relacionados ao tema Economia Circular, publicados entre os anos de 2004 e 2022. Não foram encontradas publicações anteriores a 2004. As principais áreas do conhecimento envolvidas na produção desses artigos incluem: ciências ambientais, engenharia, energia, negócios, gestão, contabilidade e ciências sociais.

O Gráfico 1 apresenta a evolução do número de publicações científicas sobre Economia Circular. O crescimento observado acompanha a tendência global de incentivo à produção industrial eficiente e à gestão sustentável de resíduos. Embora o tema tenha sido abordado de forma transversal desde os anos 1980, a concentração de publicações é um fenômeno recente, com avanços significativos a partir de 2016. Destaca-se que, nos dois últimos anos analisados — 2021 e 2022 —, o número anual de publicações superou a média dos anos anteriores, com tendência de crescimento contínuo.

Gráfico 1: Série histórica de produções científicas sobre economia circular no Scopus



Elaboração: Meireles, 2022.

Ao analisar o Gráfico 1, observa-se que o crescimento significativo das publicações ocorreu a partir de 2016 e continua em ascensão. Esse aumento expressivo na produção científica, especialmente em países europeus, tem sido impulsionado pela atuação da Comissão Europeia e da Organização das Nações Unidas (ONU), que promovem uma mudança de perspectiva global em relação aos impactos ambientais da produção industrial.

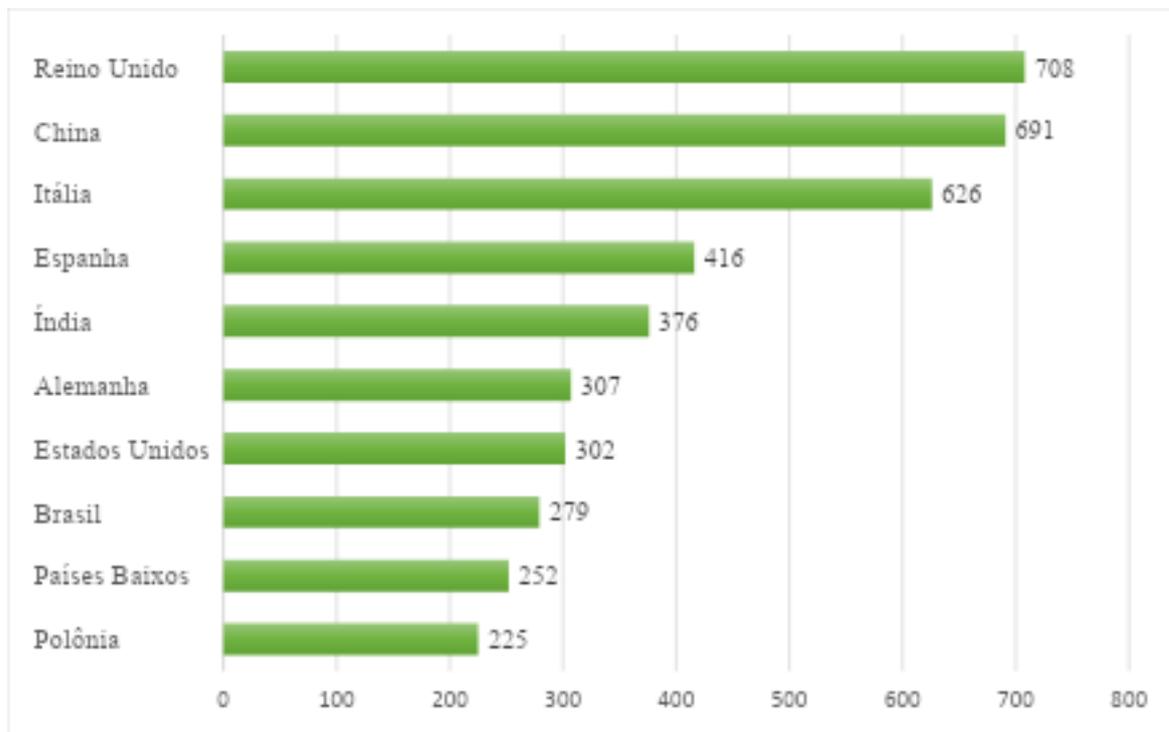
Além da publicação de iniciativas específicas voltadas à Economia Circular, como o Programa de Desperdício Zero para a Europa (2014) e o Novo Plano de Ação para a Economia Circular da União Europeia (2020), outros documentos relacionados à gestão de embalagens e resíduos também contribuíram para o avanço das pesquisas sobre o tema. Entre eles, destacam-se o relatório Economia Circular de Plásticos (2018); a Diretiva (UE) n° 2019/904, que visa reduzir o impacto de determinados produtos plásticos no meio ambiente; o documento Rumo a uma Economia Azul Sustentável (2021); e o relatório sobre Matérias-Primas Essenciais, também publicado em 2021.

Esses esforços, somados a incentivos governamentais, legislações mais rigorosas para a gestão de resíduos e o crescente interesse corporativo em programas de ESG (*Environmental, Social and Governance*), têm criado um ambiente favorável à adoção da Economia Circular.

O Reino Unido destaca-se como o país com o maior número de documentos publicados sobre Economia Circular. Dos 4.806 documentos identificados durante o período analisado, aproximadamente 15% foram produzidos por instituições britânicas, totalizando 708 publicações, seguido pela China, com 691 artigos. Ambos os países reconhecem na Economia Circular uma alternativa viável para o avanço econômico e a sustentabilidade de seus respectivos modelos de desenvolvimento industrial.

Outros países, como Itália (626 artigos), Espanha (416 artigos) e Índia (376 artigos), também têm contribuído de forma significativa para o debate científico sobre o tema. O Brasil ocupa a oitava posição no ranking de publicações, com 276 artigos. O Gráfico 2 apresenta os 10 países com maior produção científica sobre Economia Circular.

Gráfico 2: Principais países a publicar sobre Economia Circular na Scopus.



Elaboração: Meireles, 2022.

Outros 115 países foram identificados nos resultados, embora com menor expressividade. A participação de tantas nações na construção teórica sobre o tema enriquece o

debate e evidencia as diferentes visões, abordagens, análises, ensaios e estudos de caso sobre a Economia Circular.

O Reino Unido, além de ser signatário dos acordos europeus, publicou em 2018 um Plano Ambiental⁴ que estabelece estratégias para os próximos 25 anos, envolvendo: crescimento limpo, gestão industrial, economia circular e gestão de recursos e resíduos, com o objetivo de recuperar 65% de todo o resíduo gerado. Os países de Gales, Irlanda do Norte e Escócia estão desenvolvendo, em paralelo, projetos locais alinhados a essa estratégia.

Desde os anos 2000, a China vem desenvolvendo projetos de industrialização sustentável, como parques ecoindustriais (*Eco-Industrial Parks* – EIPs) e ecocidades, com foco na redução de emissões de carbono e na recuperação energética. As primeiras ações efetivas ocorreram a partir de 2005, quando o Conselho de Estado emitiu o documento Pareceres sobre a Aceleração do Desenvolvimento da Economia Circular. A partir desse documento, em 2008, foi promulgada a Lei de Promoção da Economia Circular. Em 2019, devido aos acordos comerciais com a União Europeia, a China comprometeu-se, por meio de um memorando de entendimento, a cooperar no desenvolvimento de projetos de Economia Circular. Em 2021, durante a COP 26, o país demonstrou interesse em ampliar a cooperação internacional no combate às mudanças climáticas (BLEISCHWITZ et al., 2022). Geopoliticamente, a China desponta como uma das economias que mais crescem mundialmente, e a manutenção desse crescimento precisa ser sustentável.

Para entender melhor o perfil e a temática abordada nos trabalhos encontrados, aplicou-se um segundo filtro (Scopus 2), limitando os resultados a publicações exclusivamente sobre resíduos industriais. Após esse refinamento, os resultados foram reduzidos para 207 publicações, das quais extraímos informações sobre autores, países e palavras-chave utilizadas. A partir desses dados, foram gerados diagramas correspondentes utilizando o programa VOSviewer.

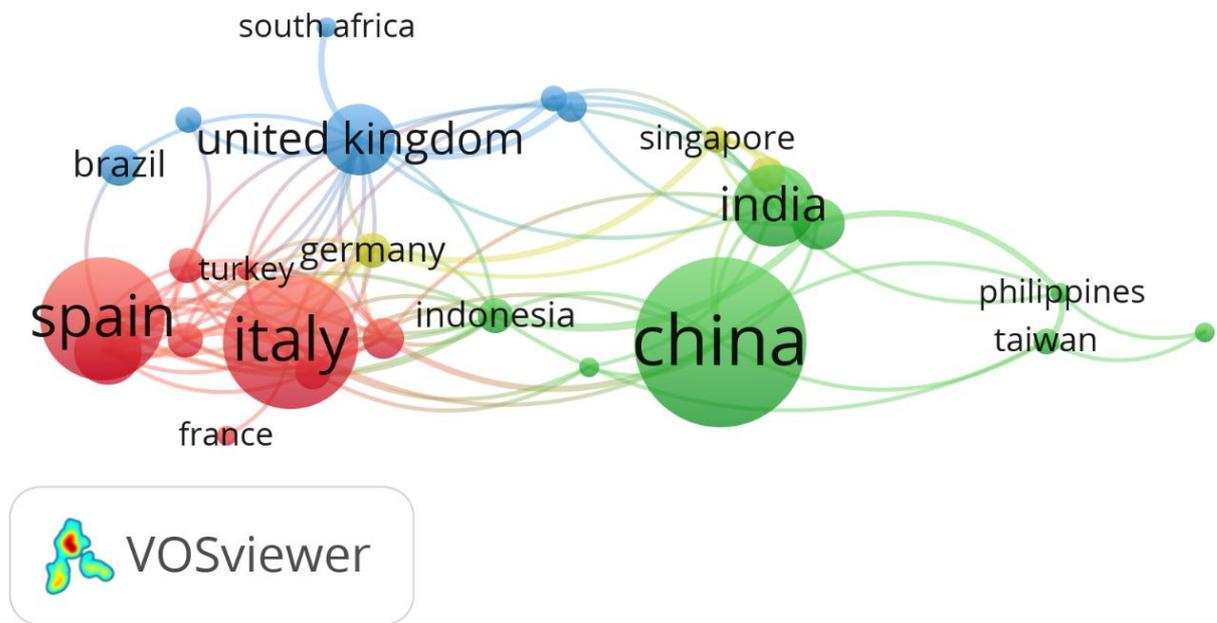
Entre os 207 trabalhos sobre Economia Circular e Resíduos Industriais, a maioria das publicações é proveniente da China, com 33 documentos. Essa representatividade reflete o posicionamento estratégico do país em investir em sistemas de recuperação energética a partir

⁴ [Plano Ambiental 25 Anos - GOV.UK \(www.gov.uk\)](http://www.gov.uk)

de resíduos, como demonstrado pela ênfase na Lei Chinesa de Economia Circular, promulgada em 2008, com foco específico na recuperação energética.

Outros países com significativa representatividade sobre o tema incluem, respectivamente: Itália (26 artigos), Espanha (24 artigos), Índia (16 artigos) e Reino Unido (14 documentos). O Brasil aparece na plataforma Scopus na oitava posição, com 8 trabalhos publicados. A Figura 4 apresenta as relações de colaboração entre os países nas publicações sobre Economia Circular e resíduos industriais.

Figura 4: Diagrama de Inter-relação entre os países com publicação no Scopus



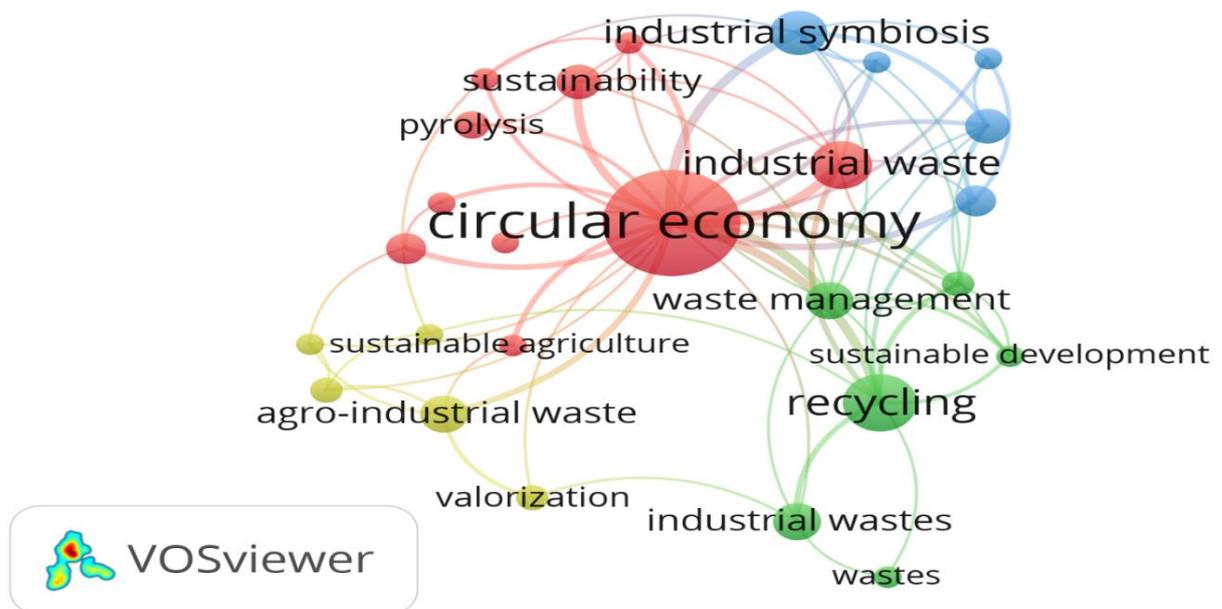
Elaboração: Meireles, 2022.

No diagrama acima, observam-se três grupos destacados que possuem ligações e parcerias quanto à publicação de documentos: os países asiáticos, a União Europeia e o Reino Unido, juntamente com a África do Sul e o Brasil. Os países europeus parecem ser fortemente influenciados pelos programas de gerenciamento de resíduos e de Economia Circular, além das legislações comuns estabelecidas pela Comissão Europeia. Outro fator que possivelmente colabora com essas parcerias são os intercâmbios acadêmicos entre universidades e centros de pesquisa.

O Brasil destaca-se como um país relevante nas bases de publicação internacional sobre Economia Circular, posicionando-se entre os dez países que mais publicam no tema em ambas as plataformas consultadas. No entanto, observa-se que há uma baixa participação de outros países da América do Sul. As publicações brasileiras apresentam relações principalmente com países europeus, evidenciando vínculos fortes com o Reino Unido, a Itália e a Espanha.

Por meio do levantamento dos temas recorrentes nos títulos e palavras-chave, identificamos, no diagrama da Figura 5, pelo menos quatro grandes temas de alta recorrência nas pesquisas publicadas: Resíduos Industriais (grupo vermelho), Simbiose Industrial (grupo azul), Reciclagem (grupo verde) e Resíduos Agroindustriais (grupo amarelo). A dispersão desses temas, interligados com outros assuntos que os circundam, evidencia as principais áreas de interesse relacionadas à Economia Circular de resíduos industriais.

Figura 5: Nuvem de palavras-chave em artigos do Scopus sobre Economia Circular de Resíduos Industriais.



Elaboração: Meireles, 2022.

Dada a ampla variedade de definições e áreas de interesse relacionadas ao tema Economia Circular, utilizamos o terceiro filtro, denominado Scopus 3, para concluir nossa análise. Com esse filtro, limitamos as pesquisas às áreas de Economia Circular, Resíduos Industriais e Sustentabilidade. Como resultado, obtivemos uma seleção restrita a 21 artigos.

A partir desse levantamento, elaboramos a Tabela 2, que apresenta a definição de Economia Circular utilizada em cada um dos artigos selecionados.

Tabela 2: Principais artigos sobre Economia Circular, Resíduos Industriais e Sustentabilidade

ARTIGOS		ANO	PAÍS	PALAVRAS-CHAVE	DEFINIÇÃO DE ECONOMIA CIRCULAR
1	Sustentabilidade da Recuperação de Metais de Valor de Resíduos Sólidos Industriais Perigosos: O Papel da Ativação Mecânica	2022	China	Processamento mineral; Metais economicamente valiosos; Ativação mecânica; Recursos secundários; Metalurgia extrativa; Sustentabilidade	Não apresenta definição para Economia Circular
2	Identificando o potencial de circularidade dos resíduos têxteis industriais gerados em empresas suíças	2022	Suíça	Análise de Fluxo de Resíduos Têxteis; Economia Circular; Gestão de Resíduos	Busca reduzir a pressão exercida sobre os recursos não renováveis, reduzir o desperdício e reduzir os impactos ambientais devido à produção e ao consumo de produtos. Pode ser aplicado tanto promovendo a reutilização e reparo para prolongar a vida útil dos produtos, minimizando o desperdício, quanto utilizando resíduos como insumo por meio da reciclagem.
3	Potencial do Uso de Fluxos de Resíduos Industriais Selecionados no Fechamento de Loops de Fluxos de Materiais - O Exemplo da Voivodia da Silésia na Polônia	2022	Polônia	Gerenciamento de resíduos; Economia circular; Eficiência de recursos; Gestão sustentável da cadeia de suprimentos	Utilização da matéria-prima e do potencial energético inerentes aos resíduos gerados pela indústria, bem como à tomada de medidas na fonte para reduzir a sua formação.
4	Modelo de Equações Estruturais dos Fatores que Influenciam a Seleção do Serviço de Disposição de Resíduos Industriais em Fornos de Cimento	2022	Tailândia	Composto de marketing; Modelo de Aceitação de Tecnologia; Teoria do Comportamento Planejado; Combustível alternativo; Coprocessamento	É a gestão dos resíduos da produção e do consumo, trazendo matérias-primas produzidas e consumidas para um novo processo de produção. Com uma abordagem de gestão de resíduos da economia circular, este processo cria valor ao passar dos resíduos industriais para a conversão de resíduos em energia
5	Criando uma Simbiose Industrial com Resíduos Gerados em Navios	2022	Turquia	Descarbonização; Transição verde; Simbiose industrial; Resíduos gerados em navios; Sustentabilidade	Modelo econômico circular que pode ajudar a descarbonizar as indústrias, é um remédio viável para os efeitos negativos sobre o meio ambiente.
6	Rebaixamento regional de carbono com maior intemperismo de resíduos industriais não perigosos	2022	China	Resíduos industriais não perigosos; Tecnologia de emissões negativas; Modelo fonte-sumidouro; Economia circular; Sequestro de CO ₂	A maximização do aproveitamento total dos resíduos sólidos para integrar a gestão de resíduos sólidos industriais com a remoção de CO ₂ e maximizar os ganhos ambientais

7	Avaliação ambiental de uma prática de transformação de resíduos em energia: A pirólise de resíduos de biomassa agroindustrial	2021	Itália	Avaliação do ciclo de vida; Aprovisionamento energético sustentável; Economia circular; Biorresíduos; Transformação de resíduos em energia;	Estratégias que envolvam o ciclo de vida dos produtos, desde a produção até à criação de mercados para matérias-primas secundárias (ou seja, derivadas de resíduos)
8	Gestão sustentável de materiais de resíduos industriais perigosos em Taiwan: Estudos de caso em economia circular	2021	Taiwan	Resíduos industriais perigosos; Gestão sustentável de materiais; Política ambiental; Medida regulatória;	Novo modelo de negócio, que visa transformar o modelo econômico tradicional (linear) em um sistema reciclável e regenerativo
9	Sinterização por plasma de centelha de cerâmicas densas de alumina a partir de resíduos industriais	2021	Croácia	Economia circular; Sustentabilidade; Cerâmica; Sinterização por plasma; Sinterização Alumina	Estímulo de uma abordagem sustentável, promovendo a utilização de materiais reciclados como substitutos dos recursos primários
10	Tecnologias emergentes de mineralização de CO ₂ para co-utilização de resíduos sólidos industriais e recursos de carbono	2021	China	CO ₂ ; Mineralização; Resíduos sólidos industriais; Intensificação de processos; Avaliação da sustentabilidade; Mitigação das mudanças climáticas; Economia circular	Não apresenta definição para Economia Circular
11	Materiais alternativos de terra batida estabilizada que incorporam resíduos reciclados e subprodutos industriais: avaliação do ciclo de vida	2021	Austrália	Construção sustentável; Construção da terra; Ativação alcalina; Geopolímero; Sustentabilidade; Economia circular; Resíduos industriais; Materiais reciclados	Não apresenta definição para Economia Circular
12	Economia circular: fechando o ciclo do catalisador com recuperação de metais de catalisadores usados, resíduos industriais, resíduos de cascas e ossos de animais	2021	Reino Unido	Economia circular; Catalisadores; Conchas; Resíduos industriais; Cascas de ovos; Ossos de animais; Ambiente; Sustentabilidade	A EC promove a utilização eficaz dos recursos que envolvem a reciclagem, a reutilização, a redução, a recuperação e a valorização da produção de energia e a utilização de matérias-primas renováveis. É óbvio que o modelo EC é restaurador e regenerativo por projeto
13	Quantificando a circularidade dos resíduos industriais regionais em empresas multicanal	2020	Reino Unido	Economia circular; Enquadramento analítico; Gestão de resíduos; Ambiente; Sustentabilidade ambiental; Análise de entrada-saída de resíduos	Otimizar o uso de recursos naturais limitados, diminuir as emissões, reduzir a perda de materiais, aumentar o uso de recursos renováveis e recicláveis, evitar o <i>downcycling</i> da qualidade dos materiais e aumentar a preservação do valor dos materiais e produtos

14	Valorização dos resíduos agroindustriais dentro do conceito de bioeconomia circular: o caso do farelo de arroz desengordurado com ênfase em estratégias de bioconversão	2020	Alemanha	Pré-tratamento; Bioconversão; Produtos de base biológica; Fermentação; Sustentabilidade; Economia circular	A Economia Circular impulsiona a pesquisa em recursos renováveis, como alternativa aos combustíveis fósseis finitos e ao impacto ambiental negativo causado por sua ampla utilização. Dentro deste conceito, as energias renováveis seriam a chave para um crescimento econômico sustentável no que diz respeito ao ambiente e à preservação dos recursos naturais
15	Soluções de economia circular para resíduos industriais	2019	Hungria	Não há	Avaliação de Sustentabilidade do Ciclo de Vida resultou em benefício em comparação com o processo tecnológico linear
16	Análise estatística para avaliação da qualidade de digeridos provenientes de fração orgânica de resíduos sólidos urbanos (RSSO) coletada separadamente e matéria-prima agroindustrial. A matéria-prima de entrada para digestão anaeróbia deve determinar o status legal do digerido?	2019	Itália	Economia circular. Gestão de instalações de biogás; Gestão de digestores OFMSW; Resíduos agrícolas	Viabilidade econômica e a segurança ambiental do uso de resíduos
17	Implementação dos princípios da economia circular na gestão de resíduos sólidos industriais: Estudos de caso de uma economia em desenvolvimento (Nigéria)	2019	Nigéria	Economia Circular; Economia em desenvolvimento; Gestão de resíduos; Política ambiental; Sustentabilidade; Nigéria	Abordagem regenerativa para a gestão de recursos naturais em oposição a um método linear que é extremamente insustentável como resultado da disponibilidade finita de matérias-primas para a produção e da degradação ambiental associada
18	Um quadro circular para a valorização dos resíduos da indústria açucareira: revisão da simbiose industrial entre as indústrias do açúcar, da construção e da energia	2018	Índia	Bagaço de cana; Cogeração; Pirólise; Sustentabilidade; Cimentos misturados; Produção mais limpa; Economia circular	Embora “economia circular” e “sustentabilidade” sejam dois conceitos diferentes, ambos integram aspectos não econômicos no modelo de desenvolvimento com uma mudança/design de sistema em seu núcleo. Quase todas as mudanças industriais para uma economia circular tendem a ser sustentáveis em virtude de sua característica de reutilização de recursos
19	Economia Circular Oportunidades Sinérgicas de Sistemas Termoquímicos Descentralizados para Produção de Bioenergia e Biocarvão Alimentados com Resíduos	2018	Grécia	Economia circular; Oportunidades sinérgicas; Descentralizado; Sistemas termoquímicos; Bioenergia; Biochar	Não apresenta definição para Economia Circular

	Agroindustriais com Sustentabilidade Ambiental e Aceitação Social: uma Revisão				
20	Simbiose Industrial: Explorando a Abordagem de Big-Data para a Descoberta de Fluxo de Resíduos	2017	Cingapura	Big Data; Simbiose Industrial; Reutilização e reciclagem de resíduos; Sustentabilidade urbana.	Uma associação entre duas ou mais instalações industriais ou empresas em que os resíduos ou subprodutos de uma se tornam a matéria-prima de outra. Uma comunidade de empresas que cooperam entre si e com a comunidade local para compartilhar recursos de forma eficiente (informação, materiais, água, energia, infraestrutura e habitat natural), levando a ganhos econômicos, ganhos em qualidade ambiental e valorização equitativa dos recursos humanos para os negócios e a comunidade local
21	Indicadores de desempenho para uma economia circular: um estudo de caso sobre resíduos plásticos pós-industriais	2017	Bélgica	Indicadores; Economia circular; Compatibilidade; Resíduos plásticos; LCA	Sistemas abertos de produção – nos quais os recursos são extraídos, usados para fabricar produtos e se tornam resíduos após o produto ser consumido – devem ser substituídos por sistemas que reutilizem e reciclem recursos e conservem energia

Elaboração: Meireles, 2022.

Na análise dos 21 artigos, observou-se que, apesar de alguns destacarem a Economia Circular em seus títulos e palavras-chave, não apresentam uma definição ou conceito claro sobre o tema. Outros artigos utilizam definições bastante amplas ou relacionadas a temas adjacentes, como gestão ambiental e simbiose industrial. As bases de pesquisa consultadas oferecem um vasto arcabouço de informações científicas sobre Economia Circular, com publicações recentes e atualizadas.

No contexto geral de publicações, a Scopus apresenta um acervo mais amplo e diversificado, sendo considerada a melhor plataforma para consulta de referencial bibliográfico

sobre o tema. Foi a partir dessas fontes de pesquisa que desenvolvemos o debate teórico e científico desta tese.

A produção científica brasileira destacou-se nas bases de dados consultadas; no entanto, ainda se encontra muito aquém dos principais países que publicam sobre o tema, especialmente em estudos de caso. Na prática, a indústria brasileira permanece predominantemente baseada em um modelo de Economia Linear, com apenas alguns exemplos pontuais de aplicação da circularidade.

O debate nacional sobre a gestão de Resíduos Sólidos Industriais ainda se encontra em uma fase considerada incipiente em relação à Economia Circular, focando principalmente na destinação dos resíduos, com uma perspectiva superficial de valorização para promover a reciclagem. No capítulo a seguir, contextualizamos a perspectiva brasileira sobre os Resíduos Sólidos Industriais e como essas práticas se refletem nas dinâmicas socioambientais, podendo gerar impactos negativos ou favorecer a circularidade dos resíduos.

CAPÍTULO 2

GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS INDUSTRIAIS: PROBLEMA, OBRIGAÇÃO OU OPORTUNIDADE?

A geração de resíduos sólidos sempre esteve ligada aos hábitos humanos e ao consumo de recursos naturais, formando um ciclo de extração, uso e descarte que gera reflexos nocivos para o meio ambiente. Historicamente, os processos de desenvolvimento da sociedade moderna, especialmente impulsionados pela industrialização, alteraram as características desses resíduos e a maneira como os seres humanos se relacionam com eles. Essa transformação fez da poluição ambiental, resultante do descarte irregular de resíduos, um dos principais problemas ambientais contemporâneos.

Os resíduos gerados por uma sociedade possuem características únicas que refletem a interação entre o homem e o meio ambiente. Quanto maior o desenvolvimento econômico de uma sociedade, maior o consumo de produtos industrializados e, conseqüentemente, maior a geração de resíduos não biodegradáveis. Neste capítulo, abordaremos a interação entre os resíduos sólidos industriais como um aspecto ambiental, considerando conceitos, características, classificação, histórico e o potencial de causar impactos ao meio ambiente e à economia.

A relação do homem com o meio ambiente e a geração de resíduos tem sido constantemente modificada em função da evolução humana, refletindo o *modus operandi* empregado pelo ser humano como agente transformador do espaço. Nos primórdios dos assentamentos humanos, o consumo era exclusivamente voltado para a sobrevivência, obtido por meio da caça e da coleta de alimentos de origem totalmente orgânica. O que não era consumido (cascas de frutas, pelos, ossos de animais, entre outros) tinha duas finalidades: reutilização ou descarte. Esse descarte, por sua vez, não representava um passivo ambiental, devido às suas características de degradabilidade.

A geração de resíduos e a percepção de seus impactos no ambiente sofreram variações graduais em função das alterações ambientais e da evolução cultural de cada sociedade. Inicialmente, os dejetos não possuíam importância significativa, devido ao baixo volume de produção e à ampla distribuição espacial. Com a concentração populacional em grandes centros

urbanos e o conseqüente acúmulo do que passou a ser denominado “lixo⁵”, a percepção humana também mudou. Desde então, esse aspecto ambiental se tornou um problema socioambiental significativo e de elevada importância para a organização social humana.

Os resíduos são definidos como:

“Qualquer material sólido que sobra das atividades humanas ou que provém da natureza e que já não atende às necessidades para as quais foi criado. Trata-se de tudo que é jogado fora, considerado sujo, inútil, velho, que perdeu sua utilidade, não pode ser reciclado e que é julgado como não tendo mais valor comercial” (RIBEIRO; MORELLI, 2009).

Diante da impossibilidade de se livrar definitivamente do lixo, a alternativa foi conviver com sua presença, garantindo meios para afastá-lo ao máximo dos aglomerados urbanos e minimizar seus impactos mais nocivos ao ambiente. A própria conceituação do que anteriormente consideramos lixo mudou bastante ao longo do tempo. Com o avanço das pesquisas relacionadas ao uso de matérias-primas e ao ciclo de vida dos produtos, percebeu-se que o termo “lixo” já estava obsoleto para designar todos os tipos de dejetos produzidos, pois estava associado diretamente a aspectos negativos, como excrementos humanos e sujeira.

O que antes chamávamos de lixo perdeu esse contexto e vem sendo substituído pelo termo “resíduo”. Essa nova forma de definir e classificar os restos das atividades humanas propõe novas oportunidades para avaliar as características individuais de cada objeto descartado, considerando suas propriedades físico-químicas e a fonte de geração. No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos define resíduos como:

“Qualquer material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível” (BRASIL, 2010).

Os resíduos, que antes eram tratados como um problema individual — em que cada grupo familiar se responsabilizava por “se livrar” de seus restos (enterrando ou queimando) —, passaram a ser um problema de saúde pública nas grandes concentrações urbanas. Esse problema foi agravado pelas indústrias de grande porte, que geram um volume significativo de resíduos em espaços concentrados. A combinação entre a concentração populacional e a

⁵ Palavra oriunda do latim *lix*, que significa cinzas.

produção agrícola e industrial em áreas urbanas originou problemas ambientais relacionados aos resíduos.

O modelo de desenvolvimento adotado após a Revolução Industrial, baseado na intensificação da produção industrial em grande escala e no consumo exacerbado de bens não duráveis, caracterizou o século XX pelos impactos ambientais nocivos de magnitudes globais.

Os múltiplos impactos socioambientais e econômicos decorrentes da crescente geração de resíduos têm contribuído ativamente para a alteração da qualidade de vida humana e da resiliência ambiental em todo o planeta. A questão ambiental, inicialmente vinculada ao que se considerava lixo, mudou e continua a evoluir conforme o debate sobre o que cada sociedade descarta se expande.

Um dos primeiros e mais significativos passos nessa mudança foi caracterizar os resíduos em diferentes tipologias, permitindo a avaliação individual de cada classe a partir de suas propriedades físico-químicas e de sua capacidade de utilidade ou inutilidade.

Entre as diversas classificações de resíduos, destacam-se os Resíduos Sólidos Industriais (RSI) como foco desta pesquisa, devido ao seu alto potencial de impacto ambiental, podendo ser classificados como perigosos ou não perigosos, gerados de forma concentrada e constante. A complexidade do gerenciamento dos resíduos sólidos industriais abrange, além dos aspectos técnicos, questões socioculturais específicas de cada localidade.

O que para um grupo social é considerado inservível ou descartável, em outra localidade, com acesso a tecnologias e culturas diferentes, pode ter novas oportunidades de recuperação ou reciclagem (RIBEIRO; MORELLY, 2009). O contexto social e a percepção ambiental em um empreendimento influenciam diretamente a gestão dada a cada tipologia de resíduo em questões como manejo, quantidade, fonte de geração, tipo de beneficiamento, reutilização, local de descarte, tecnologias de tratamento, entre outros. Esses fatores, por sua vez, impactam diretamente o modelo de gerenciamento adotado para a destinação dos resíduos de cada indústria.

Para o gerenciamento de RSI, além da aplicação de tecnologias amplamente difundidas, é necessário compreender a relação desses resíduos com o ambiente, desenvolver uma percepção ambiental apurada do local de geração e buscar alternativas de tratamento menos impactantes. Para Ferrara (1999), a percepção ambiental é o uso de signos e hábitos do lugar

informado, que só se revela na medida em que é submetido a uma operação que expõe a lógica da sua linguagem. No contexto empresarial, especialmente em empresas estrangeiras ou multinacionais, diversas percepções sobre o melhor modelo de gerenciamento coexistem, e as influências de governança e cultura empresarial precisam dialogar com as questões ambientais locais.

No desenvolvimento da gestão ambiental mundial, os resíduos demoraram a entrar na pauta das organizações, recebendo o enfoque necessário apenas nos anos 1990, em resposta a acidentes e desastres ambientais de grande magnitude que causaram significativa poluição. A percepção ambiental em relação aos RSI tem evoluído, e o modelo de gestão dado a esses resíduos está diretamente ligado às questões sociais, culturais, políticas e tecnológicas de cada região: nos Estados Unidos, é resultado do consumismo; na China, faz parte da rotina da população a destinação dos orgânicos; na Europa, o que causou calamidades de saúde pública hoje é fonte de energia; no Japão, adota-se atualmente o conceito de resíduo zero, reaproveitando ao máximo a capacidade de reciclagem de cada componente.

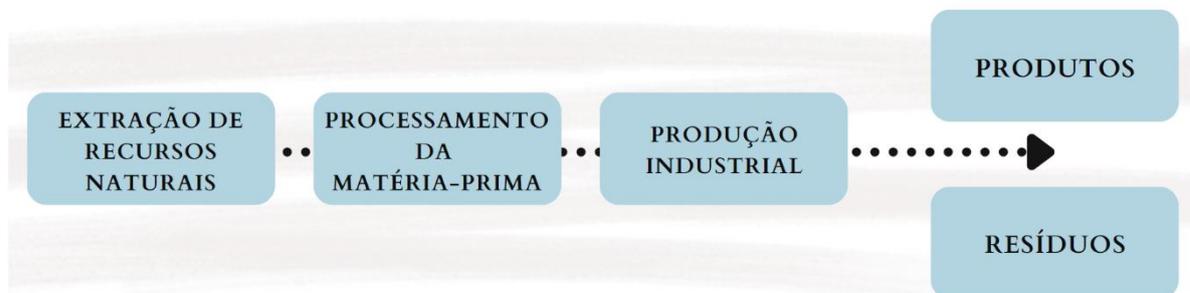
No Brasil, a geração de resíduos está entrelaçada à história de desenvolvimento do país, desde os ciclos econômicos de exploração extrativista em larga escala, pecuária e mineração, até a consolidação da indústria. De acordo com Andrade (2014), foi a partir de 1930 que a industrialização, por meio de um processo histórico-social relacionado à indústria fabril, tornou-se economicamente predominante no país, moldando nosso padrão de desenvolvimento desde então. Nesse contexto, desde 1930, estamos gerando resíduos industriais em larga escala no Brasil, com poucos sistemas de controle e regulação. Mesmo com a mudança de nomenclatura e classificações variadas, a imagem dos resíduos ainda está diretamente associada a impactos ambientais negativos, como contaminação de corpos d'água, enchentes, proliferação de vetores transmissores de doenças, assoreamento, poluição visual, mau cheiro e contaminação ambiental.

Pensar nos resíduos apenas como objetos descartados é enxergar apenas uma parte do processo. Para que um produto industrializado chegue às mãos do consumidor e posteriormente se torne um resíduo, a pegada ambiental costuma ser bastante longa, abrangendo desde a extração mineral, processamento, consumo de energia, insumos e matéria-prima, uso e descarte de água, até transporte e venda. Identificar todo esse fluxo de entropia não é tarefa fácil, mas é fator primordial na busca pela sustentabilidade no gerenciamento de resíduos, pois é essencial compreender os fatores que influenciam essa cadeia. O fluxo de movimentação dos resíduos,

desde a geração até seu “fim”, envolve ações de gerenciamento, caracterizando um sistema complexo de interações entre todos os agentes envolvidos no ciclo de vida do resíduo.

Outro fator preponderante nos sistemas de gerenciamento são os tomadores de decisão, sejam gestores ou técnicos. Mesmo com a ampla regulamentação brasileira, a ausência ou precariedade da fiscalização deixa a avaliação e o controle dos riscos ambientais sob responsabilidade dos geradores. Essa cadeia sofre influências socioespaciais, ambientais e políticas que permeiam todo o fluxo produtivo, em um ciclo de vida linear que começa muito antes da linha de produção e cujo fim não é determinado simplesmente pelo descarte ou envio para tratamento. A lógica de produção em ciclo aberto, ou a chamada produção linear, foi e ainda é amplamente utilizada na expansão da produção industrial.

Figura 6: Modelo de fluxo de produção linear baseado no sistema do berço ao túmulo.



Adaptado por: Meireles, 2022.

Em um sistema linear de produção, os recursos naturais extraídos da biosfera são transformados em matéria-prima virgem (ou de primeira linha) para a fabricação de produtos, que são distribuídos, usados ou consumidos e, em seguida, descartados. Ao mesmo tempo, parte dessa matéria-prima se torna resíduo ainda nas linhas de produção. Alguns desses resíduos são reutilizados ou destinados à reciclagem; no entanto, essa preocupação não está presente na concepção das matérias-primas, produtos e sistemas. Dessa forma, o modelo linear sempre resultará na geração de resíduos e na consequente poluição ambiental. Além desse problema mais visível, que é o acúmulo de resíduos, existe também um risco inerente, e menos discutido, que é o esgotamento das fontes de matérias-primas.

Enxergar os resíduos sólidos unicamente como um fator de poluição ambiental é um equívoco, e tecnologicamente isso vem sendo superado, uma vez que a recuperação de matérias-primas oriundas dos resíduos sólidos, por meio da Economia Circular, já é uma realidade desenvolvida e acessível em muitos países. O que ainda representa um grande desafio

é o modelo de gerenciamento dado aos resíduos, que pode diminuir essa capacidade de recuperação. A capacidade de absorção dos resíduos nos sistemas de circularidade, tanto no Brasil quanto no mundo, tem evoluído gradativamente. Resíduos como metais, papéis e plásticos, muito presentes nas plantas industriais, possuem bons níveis de reciclagem. Além disso, o uso de matéria-prima oriunda da reciclagem também influencia na redução do consumo de água e energia.

Para além dos benefícios econômicos da recuperação de resíduos nos processos industriais, é importante destacar os fatores sociais e ambientais. A ausência de saneamento ambiental adequado, assim como de tecnologias de tratamento e destinação ambientalmente saudáveis, cria passivos ambientais com grande potencial de contaminação do solo e das águas, além da ocupação de grandes áreas para a deposição de material inerte.

A Revolução Industrial foi um ponto de ruptura importante no modo como geramos resíduos. As máquinas a vapor movidas a carvão, a necessidade de mão de obra nas zonas urbanas e o consumo de matéria-prima cresceram exponencialmente, fatores que até hoje determinam a constante geração de resíduos. Os padrões de consumo da sociedade contemporânea têm influência direta nas características dos produtos que consumimos e posteriormente descartamos. A Revolução Industrial, juntamente com algumas estratégias de mercado, como a obsolescência programada e a criação de produtos descartáveis ou com baixo tempo de vida útil, disseminou práticas que passaram a integrar a vida moderna e a influenciar o aumento da geração de resíduos.

O consumo excessivo de produtos industrializados foi planejado e arquitetado, sem qualquer avaliação das consequências ambientais que acarretaria, seja pela alta demanda de matéria-prima, seja pelo descarte excessivo dos resíduos, resultando em um modelo de produção insustentável. Um exemplo desse incentivo ao consumo foi o chamado “*American way of life*” (CUNHA, 2017), que concretizou a promessa de progresso e um projeto de vida em comum, baseado no consumo. Segundo Ribeiro e Morelli (2009), essa busca em associar uma boa qualidade de vida a um alto padrão de consumo de bens materiais alimentou o consumismo, incentivou o uso de bens descartáveis e difundiu a utilização de materiais artificiais.

A poluição gerada pelo descarte inadequado dos resíduos sólidos industriais tem sido um problema ambiental global, devido à complexidade de sua composição. Isso motivou a discussão sobre os riscos ambientais associados a esses resíduos e a necessidade de buscar um

equilíbrio entre o consumo de recursos naturais, a produção industrial e a qualidade ambiental. Dessa forma, os Sistemas de Gestão Ambiental surgiram nos anos 1990, após diversos acidentes envolvendo a produção industrial com altos impactos ambientais, propondo ao mundo corporativo alternativas proativas para o controle econômico, social e ambiental em seus processos e para tratar os aspectos da produção industrial de forma a amenizar os passivos ambientais.

Entre os principais acidentes ambientais ocasionados por resíduos industriais, podemos elencar internacionalmente: Flixborough, na Inglaterra, em 1974; Seveso, na Itália, em 1976; Bhopal, na Índia, em 1984; Cidade do México, em 1984; e Sandoz, na Suíça, em 1986, todos ultrapassando os limites industriais e contaminando a longo prazo a região do entorno. No Brasil, destacam-se os acidentes de Cubatão, em 1984; o descarte de óleo na Guanabara, em 2000; e, mais recentemente, os derrames de barragens de minério industrial em Mariana, em 2015, e em Brumadinho, em 2019.

Nestes acidentes, verifica-se que os riscos de uma má gestão dos resíduos industriais são potencializados, pois o raio de impacto de acidentes ambientais ultrapassa as barreiras físicas das indústrias, afetando principalmente a população instalada nas zonas de influência, muitas vezes com impactos socioambientais irreversíveis e perda de vidas.

A geração de resíduos é inerente às atividades industriais; por isso, o que fazer com esses resíduos após a produção deve ser uma parte importante dos processos produtivos, de maneira a identificar, controlar e minimizar os impactos ambientais decorrentes da produção industrial (SIMIÃO, 2011; KIPPER, 2013).

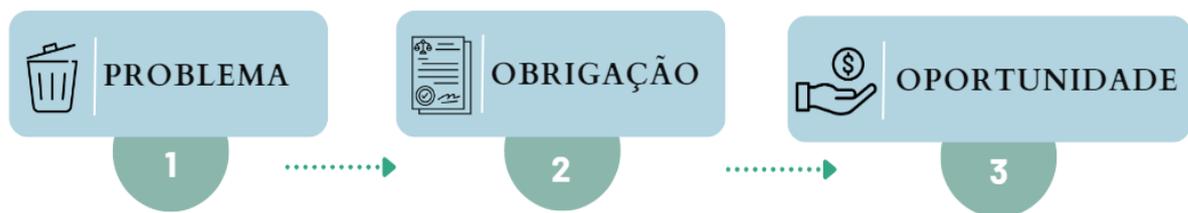
Os resíduos sólidos industriais apresentam sérios riscos ambientais associados às suas características e volumes, tornando-se um problema para as corporações devido à iminência de danos ambientais. Medidas de controle, como legislação, normas e certificações, impõem a obrigatoriedade de tratar esses resíduos, o que, a princípio, teve um efeito bastante positivo ao obrigar os geradores a destinar seus resíduos de acordo com padrões ambientalmente corretos. No entanto, isso já não é suficiente.

Para as corporações que se propõem a demonstrar aos seus usuários padrões de sustentabilidade, é necessário que os resíduos sejam incorporados em seu planejamento industrial de maneira holística, com responsabilidade compartilhada entre todos os atores envolvidos, desde a produção industrial até o descarte ou tratamento. Acompanhar todo o ciclo

de vida do produto é essencial para que os resíduos industriais sejam vistos como oportunidades de melhoria.

A perspectiva socioambiental e econômica que temos sobre os resíduos vem mudando há algum tempo. O que, a princípio, era um problema, tornou-se uma obrigação a partir das exigências legais. Acreditamos que seja possível, em uma nova transição, mudar de obrigação para oportunidade. Algumas indústrias ainda estão passando por essas transições e podem ter condições diferentes para enfrentar essas mudanças. A seguir, descreveremos as condições que identificamos em cada uma das fases apresentadas na Figura 7.

Figura 7: Fases da percepção sobre Resíduos Industriais.



Elaboração: Meireles, 2022.

Nessa perspectiva de mudança, definimos a situação dos geradores de resíduos industriais em três fases.

Na fase 1, os resíduos são considerados um problema. Essa fase caracteriza-se pela ausência de informações sobre gerenciamento, pelo não atendimento da legislação ambiental, pelo desconhecimento sobre a classificação dos resíduos, pelo grande volume de geração, pela falta de área para armazenamento, pela ausência de profissionais com conhecimentos técnicos para a gestão dos resíduos, pelo descarte em locais inadequados ou pelo custo elevado para a destinação, pela criação de passivos ambientais e pelo risco de multas e embargos à operação da indústria.

Na fase 2, encontram-se as indústrias que possuem, principalmente, Licença de Operação (L.O.) expedida por órgãos ambientais. Essas indústrias devem obrigatoriamente atender aos requisitos da legislação ambiental e às condicionantes para continuarem operando. Indústrias nessa fase possuem um profissional com pouca ou nenhuma expertise na área ambiental fazendo a gestão de seus resíduos, armazenamento de resíduos descentralizado ou centrais de armazenamento parcialmente adequadas, baixa qualidade na segregação,

treinamentos pontuais sobre educação ambiental e reciclagem, atendem parcialmente à legislação, com foco na destinação do resíduo (principalmente incineração ou aterros), baixo índice de reciclagem e alto custo com tratamentos pouco eficientes. Nessas indústrias, não há circularidade na matéria-prima oriunda de resíduos.

Alguns setores da indústria brasileira, principalmente os mais antigos, ainda enfrentam obstáculos quanto ao atendimento da legislação ambiental e à minimização da carga poluidora de sua produção industrial. Essas indústrias precisam realizar, anteriormente, a descontaminação de seus processos, o que é oneroso e requer investimento em novas tecnologias. A transição da fase 2 para a fase 3, além do investimento tecnológico e em infraestrutura, requer governança e aprimoramento de uma cultura empresarial voltada para a sustentabilidade. Os fatores humanos nas tomadas de decisão farão a diferença entre manter, a longo prazo, a sustentabilidade dos processos ou limitar-se a ações de *greenwashing*.

Na fase 3, os compromissos vão além dos termos da legislação. As corporações possuem certificações voluntárias de Gestão Ambiental ou buscam desenvolver mecanismos internos para minimizar os impactos ambientais de sua produção. Essas indústrias investem na minimização da geração de resíduos ou na reutilização, contam com profissionais técnicos capacitados para a gestão dos resíduos, implementam coleta seletiva e beneficiamento, realizam pesquisas de avaliação do ciclo de vida do produto, promovem a classificação e valorização do resíduo, e incorporam a questão ambiental à cultura empresarial. Além disso, buscam reduzir os custos com a destinação final ou gerar receitas com a venda de resíduos e sistemas de tratamento ecologicamente corretos. Empresas nessa fase controlam seus riscos ambientais por meio de indicadores e, se possuem capital aberto, divulgam seus relatórios de sustentabilidade e dados socioambientais.

As corporações que chegam à terceira fase de percepção ambiental quanto aos resíduos as consideram parte integrante dos processos e, em alguns casos, como subprodutos que podem ser inseridos em outros processos internos ou destinados a empresas parceiras. É nesse contexto que a Economia Circular começa a ser incorporada às linhas de produção. Os subprodutos são saídas de processos industriais e devem ser contabilizados como parte importante nos cálculos de energia e matéria (GENG et al., 2010). Os subprodutos são recursos diretamente úteis; por exemplo, a serragem, como subproduto, pode ser utilizada sem nenhum beneficiamento, assim como vapor, água e calor. Em outros casos, os subprodutos não são imediatamente úteis e

requerem algum tratamento, possuem valor econômico e são responsáveis por processos positivos ou negativos a jusante dos processos produtivos.

A evolução da percepção socioambiental de como lidar com os resíduos industriais, seguindo essas três fases, não é algo simples. Para muitas indústrias, os Resíduos Sólidos Industriais (RSI) ainda são um problema para as linhas de produção, causando ônus aos processos industriais com tecnologias de tratamento caras, focadas apenas na destinação final. Isso, em muitos casos, leva ao uso de tecnologias como a incineração, que degrada a matéria-prima que poderia ser recuperada. A destinação de resíduos com condições de reciclabilidade à incineração ou a aterros ocorre pela ausência de estratégia de gestão por parte dos geradores ou pela dificuldade de acesso a tecnologias mais sustentáveis.

A gestão sustentável dos RSI abarca duas grandes áreas de atenção: a ambiental e a econômica, que devem ser igualmente avaliadas de acordo com as características (classificação) e questões relacionadas a cada tipo de resíduo no local de produção. Devem ser considerados fatores como: processos de origem, classificação, pesos e volumes, beneficiamentos, transportes, legislações e controles aplicáveis, além dos tipos de tratamentos disponíveis.

Apesar da importância do apelo ambiental, as iniciativas de mudança nas empresas frequentemente são motivadas por fatores econômicos, como a redução dos custos de tratamento e a obtenção de receita com a venda de resíduos. Para que essas iniciativas sejam viáveis, as organizações precisam garantir que os investimentos em tratamentos de resíduos tragam retornos financeiros, refletidos na eficiência de seus indicadores.

É fundamental mudar a perspectiva econômica, focando em inovações que sejam verdadeiramente eficientes e relevantes para o desenvolvimento da empresa, ao mesmo tempo em que se investe na mitigação de danos ambientais. Essa abordagem não apenas alinha os objetivos financeiros e sustentáveis, mas também contribui para a inovação de processos mais sustentáveis.

Ribeiro e Morelli (2009) citam o elevado custo para o gerenciamento de passivos ambientais, o risco de multas ambientais, a possibilidade de geração de receita com a venda dos resíduos e a construção de uma imagem ambientalmente amigável para a sociedade como pontos importantes a serem considerados nos investimentos em ações de gestão de resíduos.

O primeiro passo para perceber os Resíduos Industriais como uma oportunidade é conhecer as possibilidades de recuperação da matéria-prima de cada tipo de resíduo produzido

pelo processo. Nem todo resíduo tem condições físico-químicas de ser reciclado; alguns necessitam de tecnologias específicas de recuperação, que podem tornar o processo oneroso ou economicamente inviável.

Os Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) são instrumentos de gestão que têm como objetivo garantir o controle e agregar valor aos resíduos. É preciso superar os modelos que se preocupavam unicamente com coleta, armazenamento e destinação. Deve-se considerar influências além dos muros das indústrias e o mercado de absorção desses resíduos, de maneira a privilegiar a reinserção desses resíduos como subprodutos, em vez de apenas tratá-los. Para que um resíduo possa sair da fase problema e chegar à fase de oportunidade, é preciso um sistema de gestão eficiente com PGRS que não só descreva os resíduos gerados pela indústria, mas também invista em análises que possam classificar corretamente os resíduos e buscar novas tecnologias de tratamento. A classificação do resíduo pode mudar de acordo com contaminações que podem ocorrer em cada processo produtivo.

2.1. RESÍDUOS INDUSTRIAIS: TERMOS, DEFINIÇÕES E CLASSIFICAÇÕES

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), publicada em agosto de 2010, é atualmente a diretriz nacional para a gestão de resíduos no Brasil, representando um marco regulatório que consolidou debates de políticas ambientais anteriores, com enfoques mais generalizados. As definições e classificações utilizadas nesta lei são baseadas em resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) e em normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que, antes da consolidação da PNRS, já forneciam diretrizes para a gestão de resíduos em território nacional.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas publicou, em 2004, a norma regulamentadora sobre a classificação dos Resíduos Sólidos (NBR 10.004). Esta norma traz uma definição importante para o termo e o modelo de classificação atualmente mais empregado. Como diretriz para a gestão de resíduos, a norma apresenta a definição de resíduos sólidos como sendo:

“Resíduos em estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos [...]” (ABNT, 2004a).

Segundo a NBR nº 10.004, a classificação de resíduos sólidos envolve: o processo ou atividade de geração (fonte), seus constituintes químicos e características físicas. Com o objetivo de direcionar a caracterização inicial dos principais resíduos conhecidos, a norma apresenta, em seus anexos, uma lista de resíduos com suas respectivas classes. Sobre a fonte de geração, a norma define que:

“A segregação dos resíduos na fonte geradora e a identificação da sua origem são partes integrantes dos laudos de classificação, onde a descrição de matérias-primas, de insumos e do processo no qual o resíduo foi gerado devem ser explicitados. A identificação dos constituintes a serem avaliados na caracterização do resíduo deve ser estabelecida de acordo com as matérias-primas, os insumos e o processo que lhe deu origem.” (ABNT, 2004a).

O documento apresenta um padrão de classificação dos resíduos por meio de suas características físico-químicas e um fluxograma de como avaliar cada resíduo, chegando a duas classes principais: perigosos (classe I) e não perigosos (classe II), sendo que esta última se subdivide em duas subclasses: não perigosos – não inertes (classe IIA) e não perigosos – inertes (classe IIB). A Tabela 6 demonstra esse modelo de classificação e apresenta exemplos.

Tabela 6: Modelo de classificação de resíduo da NBR 10.004/2004.

CLASSE		CARACTERÍSTICA	EXEMPLOS
Classe I - Perigosos		Inflamável, corrosivo, reativo, tóxico ou patogênico	Produtos químicos em geral
Classe II Não Perigosos	II A Não Inerte	Orgânicos, Biodegradáveis	Resíduo de restaurante (restos de alimentos), bagaço de cana, madeira.
	II B Inerte	Inorgânicos, Recicláveis	Resíduos de plástico polimerizado, borracha, minerais não-metálicos, areia de fundição

Fonte: Norma Brasileira Regulamentadora nº 10.004, 2004.

Os resíduos perigosos são assim classificados devido ao seu alto potencial de alteração ambiental e aos riscos à saúde humana. Com amplo raio de ação, os resíduos classe I são definidos como:

“Resíduos que apresentam periculosidade em função de suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas, que podem apresentar: risco à saúde pública,

provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices; e riscos ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada.” (ABNT, 2004a).

A NBR 10.004, além das definições, traz anexos que padronizam a classificação dos resíduos. Os anexos A e B desta norma apresentam, respectivamente, a lista de resíduos perigosos de fontes não específicas e de fontes específicas. Essas listas auxiliam na classificação dos resíduos identificados em sua origem de produção, servindo como guia para a elaboração de análises preliminares, fornecendo informações sobre: código de identificação, fonte geradora (anexo B), nome do resíduo, constituintes perigosos e características de periculosidade.

Nos anexos C, D e E são listadas as substâncias que, respectivamente, conferem periculosidade aos resíduos, substâncias agudamente tóxicas e substâncias tóxicas. Portanto, qualquer produto que contenha uma ou mais das substâncias citadas, ao ser descartado, caracteriza-se como um resíduo perigoso. A comprovação da presença dessas substâncias em qualquer resíduo é feita por meio de ensaios de lixiviação, com parâmetros descritos na ABNT NBR 10.005:2004, que determina como deve ser realizado o procedimento para a obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos.

O anexo F apresenta os limites máximos que cada substância pode apresentar no ensaio de lixiviação. Ao ultrapassar os parâmetros máximos permitidos por essa norma, o resíduo caracteriza-se como perigoso. O anexo G descreve os padrões para o ensaio de solubilização, enquanto o anexo H informa o código de alguns resíduos classificados como não perigosos e fornece exemplos.

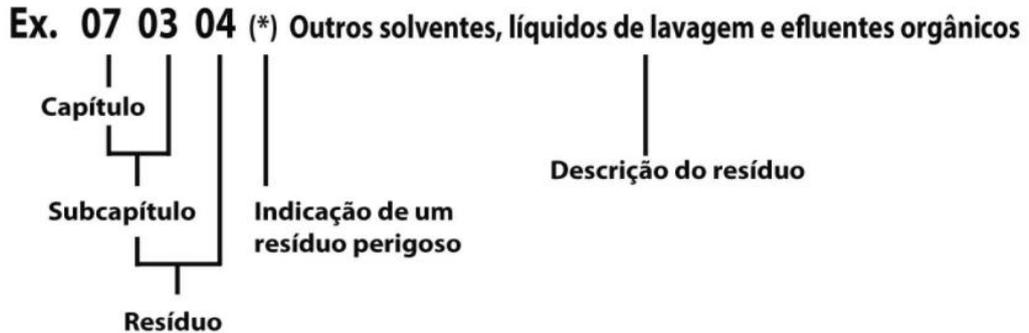
Por sua vez, os resíduos não perigosos (classe II) não apresentam nenhuma das características físico-químicas dos resíduos perigosos e são definidos como:

Os resíduos classe II A – Não inertes podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água, enquanto que os classe II B – Inertes são quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.” (ABNT, 2004a).

Para padronizar a linguagem e a nomenclatura dos resíduos sólidos no âmbito nacional, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA)

publicou, em 2012, a Lista Brasileira de Resíduos Sólidos por meio da Instrução Normativa nº 13. Essa lista utiliza códigos e terminologias (Figura 8) para descrever todos os resíduos conhecidos em território nacional. O modelo brasileiro foi inspirado na Lista Europeia de Resíduos Sólidos, conforme a *Commission Decision n° 2000/532/EC* (COMISSÃO EUROPEIA, 2000).

Figura 8: Modelo de classificação de resíduos da Lista Brasileira de Resíduos Sólidos.



Fonte: Instrução Normativa IBAMA nº 13, 2012.

A Lista Brasileira de Resíduos está dividida em 20 capítulos que determinam as fontes de geração. Cada capítulo possui subcapítulos que especificam os processos e a nomenclatura de cada resíduo. Esse modelo de classificação é utilizado para a elaboração do Relatório Anual de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Ambientais (RAPP) do Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), além de servir para a emissão de Manifestos de Transporte de Resíduos (MTR) no Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR).

Em 2010, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) sistematizou todas as referências quanto à gestão de resíduos sólidos e definiu os parâmetros necessários para o correto gerenciamento de resíduos no território nacional. No capítulo II, a PNRS apresenta definições importantes para o gerenciamento de resíduos sólidos, entre as quais se destacam: a

diferenciação entre destinação final ⁶e disposição final⁷, gestão integrada e gerenciamento⁸, logística reversa⁹, reciclagem¹⁰, e a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos.

O foco em definir os resíduos sólidos como resultado das atividades humanas estabelece o vínculo de que essas substâncias não são naturais e, conseqüentemente, não podem ser reabsorvidas em seus ciclos naturais, cabendo ao homem dar uma destinação adequada aos resíduos.

Os resíduos industriais são classificados, a priori, por sua origem, ou seja, aqueles gerados nos processos produtivos e nas instalações industriais. Posteriormente, deve-se realizar a classificação individual de acordo com cada tipo de resíduo. Os resíduos de origem industrial, classificados assim pela PNRS, já haviam sido definidos anteriormente na Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 313, de 2002, como:

“Todo resíduo que resulte de atividades industriais e que se encontre nos estados sólido, semissólido, gasoso — quando contido — e líquido [...]. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água e aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição.” (CONAMA, 2002).

Os resíduos de origem industrial apresentam uma alta variabilidade em sua composição, de acordo com o processo produtivo. Neles podem estar incluídos resíduos químicos tóxicos, corrosivos, radioativos, inflamáveis e não biodegradáveis, que podem causar danos irreversíveis aos ecossistemas terrestres ou aquáticos, além de resíduos recicláveis e orgânicos. A geração de resíduos sólidos industriais representa um agente nocivo de alterações na

⁶ Destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS) e do Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária (SUASA), entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas, de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos;

⁷ Distribuição ordenada de rejeitos em aterros, observando normas operacionais específicas, de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos;

⁸ Conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável;

⁹ Instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada;

¹⁰ Reciclagem: processo de transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos, observadas as condições e os padrões estabelecidos pelos órgãos competentes do SISNAMA e, se couber, do SNVS e do SUASA;

qualidade ambiental, que está diretamente ligada ao modelo de produção adotado e à forma como a indústria gerencia seus resíduos.

Além dos aspectos técnicos sobre o gerenciamento dos resíduos industriais, o fator econômico também é preponderante, pois o custo do tratamento de resíduos perigosos é significativamente superior ao de resíduos inertes ou orgânicos. O gerenciamento adequado dos aspectos ambientais dos processos industriais introduz um novo olhar sobre a produção econômica, incorporando aspectos de avaliação ambiental à produção, capazes de minimizar os impactos ambientais causados pelos resíduos e promover uma produção sustentável.

Ao avaliar de maneira geral o Polo Industrial de Manaus quanto à percepção ambiental sobre os Resíduos Sólidos Industriais (RSI), podemos classificá-lo na segunda fase do modelo que descrevemos. A cultura industrial predominante em Manaus ainda trata os resíduos como uma obrigação legal, por meio de sistemas de Economia Linear, caracterizando uma produção preocupada exclusivamente em atender às obrigações legais para a manutenção das licenças de operação. Nesse contexto, os resíduos são vistos como elementos dissociados da produção, e os instrumentos de governança são individualizados para cada empresa, uma vez que o Polo Industrial de Manaus (PIM) não possui normas que incentivem a circularidade dos resíduos.

Sem instrumentos de gestão eficazes, que partam de uma governança central de regulação do PIM, os esforços individuais de cada empresa não influenciam diretamente numa gestão sustentável do Polo. Além disso, não há a possibilidade de agregar valor aos resíduos ou de explorar as oportunidades de recuperação de matérias-primas. Ainda são utilizadas medidas paliativas, visando apenas à destinação dos resíduos, seja pela reciclagem, incineração, depósito em aterros ou mesmo disposição em lixões clandestinos, sem considerar a capacidade de reutilização, recuperação ou reciclagem exigidas pela PNRS.

2.2. ESTRUTURA LEGAL, NORMAS E ORIENTAÇÕES PARA GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DO PIM

O Brasil possui um vasto arcabouço de leis e normas destinadas a garantir a manutenção da qualidade ambiental. Entretanto, a falta de aplicação e cumprimento dessas normas causa um impasse entre os interesses públicos e privados na geração e destinação de resíduos, evidenciando conflitos jurídicos. As ações danosas praticadas por instituições privadas geram

impactos ambientais que afetam o bem-estar da coletividade, cuja proteção deve ser assegurada pelo poder público.

Historicamente, os resíduos sólidos no Brasil foram tratados como uma questão de responsabilidade particular até a década de 1960, quando cada gerador destinava seus resíduos à sua maneira. Em 1967, com a publicação do Decreto-Lei nº 303/1967, que instituiu o Conselho Nacional de Controle da Poluição Ambiental, os resíduos sólidos passaram a ser considerados um problema urbano e de responsabilidade do poder público.

A principal referência nacional em relação à gestão ambiental no Brasil é a Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), instituída pela Lei Federal nº 6.938/1981, com o objetivo de preservar, melhorar e recuperar a qualidade do meio ambiente propícia à vida (BRASIL, 1981). Essa legislação foi a primeira a estabelecer diretrizes para o controle dos resíduos industriais, prevendo punições para quem causasse danos ao meio biofísico a partir do princípio do “Poluidor-Pagador”.

Segundo esse princípio, cada gerador é responsável pela manipulação e destinação final de seus resíduos, sendo obrigado a indenizar pelos danos que causar, independentemente de culpa. Isso impõe ao poluidor a obrigação de recuperar e/ou indenizar os prejuízos causados e representa, até hoje, um marco legal em relação às políticas públicas ambientais e à responsabilização de agentes de danos.

A Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) estabeleceu o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), composto por um conjunto de órgãos públicos — nacionais, estaduais e municipais — responsáveis pela aplicação da legislação ambiental e pela fiscalização destinada à proteção do meio ambiente. Em seu artigo 10, a PNMA determina que os órgãos estaduais de meio ambiente podem controlar e impor a redução das atividades consideradas potencialmente poluidoras.

A Lei Federal de Crimes Ambientais nº 9.605/1998 (BRASIL, 1998) é uma das legislações mais relevantes no que se refere à responsabilização dos agentes causadores de danos ambientais, pois dispõe sobre as sanções penais e administrativas decorrentes de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente. Essa legislação aborda os impactos ambientais tanto na esfera administrativa quanto nas esferas cível e criminal, abrangendo ações poluidoras praticadas por pessoas físicas e jurídicas.

O artigo 54 da Lei nº 9.605/1998 criminaliza a poluição de qualquer natureza que resulte ou possa resultar em danos à saúde humana, mortandade de animais ou destruição significativa da flora, estabelecendo para o infrator a pena de reclusão de um a quatro anos, além de multa. Um ponto fundamental desta lei é a previsão da responsabilização de todos os envolvidos no dano ambiental, de acordo com a medida de sua culpabilidade, incluindo expressamente a possibilidade de penalização de pessoas jurídicas.

A legislação considera o potencial de poluição associado a resíduos sólidos, líquidos e gasosos, detritos, óleos ou substâncias oleosas, os quais são proibidos de serem lançados diretamente na natureza.

São considerados como crimes ambientais crimes contra a fauna, a flora, poluição, crimes contra o ordenamento urbano e o patrimônio cultural e crimes contra a administração ambiental e infrações administrativas. A gestão inadequada dos resíduos sólidos encaixa-se como crime de poluição, pois tem potencial que provocar danos à saúde humana, mortandade de animais e destruição significativa da flora. Lei de Crimes Ambientais (BRASIL, 1998).

A primeira lei exclusiva no Brasil voltada para o tema foi a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), de 2010, que sistematizou todas as referências relativas à gestão de resíduos sólidos no país e, atualmente, constitui a principal referência para as ações no setor. O longo debate em torno da aprovação da PNRS evidenciou o impasse relacionado à responsabilização dos fabricantes pelo descarte dos resíduos após o consumo, destacando a logística reversa como um instrumento de desenvolvimento econômico e social que prolonga o ciclo de vida dos resíduos e favorece a recuperação de matéria-prima e de energia.

A logística reversa é um processo de gestão que visa à responsabilização do produtor pela recuperação da matéria-prima reciclável de seus produtos. Trata-se de um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento em seu próprio ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou ainda para outra destinação final ambientalmente adequada. Assim, os produtores permanecem responsáveis por seus produtos durante todas as fases de sua vida útil.

No campo da logística empresarial, planeja-se, opera-se e controla-se os fluxos, incluindo as informações correspondentes ao retorno de bens pós-venda e pós-consumo ao ciclo de negócios, por meio de canais de distribuição reversos (LEITE, 2009), agregando valor de

diversas naturezas: econômica, legal e ecológica. No entanto, os sistemas de retorno dos resíduos pós-consumo, muitas vezes, enfrentam entraves econômicos. Os custos de armazenamento e transporte para o retorno aos pontos de produção geralmente não estão incorporados nos preços de venda e distribuição dos produtos, e, caso fossem, encarecem significativamente os produtos para o consumidor final. Por essa razão, nem sempre a devolução dos resíduos ao ponto de origem é viável. Para produtos com distribuição nacional, é necessário buscar alternativas regionais ou locais de recuperação, de modo a evitar que os custos inviabilizem sua competitividade em relação a outros produtos locais.

O objetivo da logística reversa é abranger todas as ações vinculadas à reutilização de produtos e/ou materiais, incorporando atividades logísticas de coleta, desmonte e processamento de produtos, materiais ou peças usadas, com a finalidade de garantir uma recuperação considerada sustentável. A logística reversa é descrita por Filho e Berté (2008) como:

O processo de planejamento, implementação e controle eficientes (inclusive em custos) de matéria-prima. Materiais em processo, produtos acabados e informações relacionadas ao ponto de consumo para o ponto de origem, para atender as necessidades de recuperação de valor e ou descarte correto e controlado (FILHO e BERTÉ, 2008).

Na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), está prevista a redução na geração de resíduos, propondo-se a prática de hábitos de consumo sustentável e a adoção de um conjunto de instrumentos destinados a propiciar o aumento da reciclagem e da reutilização dos resíduos sólidos, bem como a disposição ambientalmente adequada dos rejeitos. Entre os objetivos da PNRS estão a criação de medidas de desoneração tributária para produtos recicláveis e reutilizáveis, além da disponibilização de linhas de crédito para o financiamento e a implantação de projetos de Produção Mais Limpa, Logística Reversa e Reciclagem. No entanto, a lei não faz referência explícita à Economia Circular.

Essa política foi elaborada com base em legislações e normas pré-existentes e, a partir dela, desenvolveram-se novas referências legais que compõem o conjunto de marcos legais e estruturas de orientação para a gestão dos resíduos sólidos do Polo Industrial de Manaus (PIM).

As definições aplicadas na PNRS fundamentam-se em normativas técnicas anteriores que já abordavam o gerenciamento de resíduos. Entre essas normas destaca-se a ABNT-NBR

10.004/2004, da Associação Brasileira de Normas Técnicas, que trata dos sistemas de classificação de resíduos e os define como:

“Resíduos em estados sólido e semissólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos [...]” (ABNT, 2004a).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) é um órgão consultivo e deliberativo que estabelece normas e padrões sobre as interações potencialmente poluidoras, incluindo os resíduos. A Resolução CONAMA nº 313/2002 dispõe sobre a necessidade de elaborar o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais, com a participação de todos os Estados da Federação, que devem contribuir com os Inventários Estaduais. Esses dados devem ser repassados ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA).

Os resíduos sólidos industriais, oriundos das atividades dos diversos ramos da indústria (representados por resíduos perigosos e não perigosos), foram definidos pela Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 313, de 2002, como:

Todo resíduo que resulte de atividades industriais e que se encontre nos estados sólido, semissólido, gasoso — quando contido — e líquido [...]. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água e aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição (CONAMA, 2002).

No Amazonas, o licenciamento ambiental e o controle de atividades potencialmente poluidoras são de responsabilidade do Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas (IPAAM), órgão estadual do Meio Ambiente. Segundo a Resolução CONAMA nº 237/1997, “cabe ao órgão ambiental competente definir, se necessário, procedimentos específicos para as licenças ambientais, observadas a natureza, características e peculiaridades da atividade ou empreendimento, e, ainda, a compatibilização do processo de licenciamento com as etapas de planejamento, implantação e operação.” A Lei Estadual amazonense nº 3.785, de 2012, determina os procedimentos e as taxas para o licenciamento ambiental no Amazonas.

Em 2017, o Governo do Amazonas publicou a Política Estadual de Resíduos Sólidos do Amazonas (PERS-AM), por meio da Lei Estadual nº 4.457, que dispõe sobre os princípios, objetivos e instrumentos da gestão e gerenciamento integrado dos resíduos sólidos, estabelecendo a responsabilidade compartilhada entre o setor público, o setor empresarial e a

sociedade civil. A política foi regulamentada em 2020 pelo Decreto nº 41.863, que instituiu o Comitê Estadual de Resíduos Sólidos (CERS). Um dos instrumentos da PERS-AM é o Plano Estadual de Resíduos Sólidos, desenvolvido pela Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SEMA), que descreve de forma superficial a gestão de resíduos industriais em Manaus. Os dados sobre Resíduos Sólidos Industriais (RSI) apresentados neste documento são antigos, oriundos de uma produção da SUFRAMA/JICA de 2010, e compreendem os únicos dados disponíveis sobre a geração de resíduos do Polo Industrial de Manaus (PIM). As pesquisas para o Plano Estadual negligenciaram a produção de resíduos industriais no Amazonas.

Em Manaus, desde 2010, já se discute legalmente a responsabilização pela gestão e destinação de resíduos. A Lei Municipal nº 001/2010 determina que a coleta, o tratamento, a reciclagem ou a disposição final de resíduos da classe II, em quantidades superiores a 200 litros por dia, é de responsabilidade dos geradores, assim como o tratamento dos resíduos da classe I, de origem empresarial. No mesmo ano, foi publicado o Plano Diretor de Resíduos Sólidos de Manaus (IBAM, 2010), que, da mesma forma que o plano estadual, não aprofunda as pesquisas ou parâmetros para descrever os resíduos industriais gerados em Manaus, apontando a ausência de dados e a lacuna em pesquisas sobre o tema.

O avanço da legislação, assim como as medidas de controle e gerenciamento ambiental, são ferramentas para a promoção da sustentabilidade, funcionando como mecanismos que incentivam, de maneira compulsória, os empreendimentos e indústrias a investirem em melhorias para seus processos. Segundo Mota (2016), a legislação ambiental brasileira para o controle de resíduos tem evoluído e proporcionado um arcabouço para a melhoria dos sistemas de gestão ambiental.

Quanto maior for a base legal para orientação, associada à contribuição acadêmica e científica, mais bem estruturada estará um tema para aprimoramento. O debate sobre os resíduos sólidos no Brasil possui ambos e, a seguir, apresentamos um levantamento cronológico das publicações de leis, normas, programas, orientações e instituições de referência, com suas descrições e/ou objetivos, que constituem os principais instrumentos legais para a gestão de resíduos e podem servir de base para o desenvolvimento de futuras leis que abordam a Economia Circular no Polo Industrial de Manaus.

Anteriores a 2000

- Lei Federal nº 6.938/1981 – Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA): tem como objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no país, condições para o desenvolvimento socioeconômico, os interesses da segurança nacional e a proteção da dignidade da vida humana.
- ISO 14.000/1996 – Sistema de Gestão Ambiental: conjunto de normas da série voltadas para a gestão ambiental de empresas de qualquer nível, tamanho ou área.
- Lei Federal nº 9.605/1998 – Lei de Crimes Ambientais: dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, sendo a principal legislação requerida para o controle de impactos ambientais.
- Lei Federal nº 9.795/1999 – Política Nacional de Educação Ambiental (PNEA): envolve, em sua esfera de ação, além dos órgãos e entidades integrantes do Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA), instituições educacionais públicas e privadas dos sistemas de ensino, órgãos públicos e organizações não governamentais com atuação em educação ambiental.
- Lei Federal nº 9.974/2000 – Destino de Resíduos e Embalagens de Agrotóxicos: dispõe sobre a pesquisa, gestão e destino final dos resíduos e embalagens de agrotóxicos, seus componentes e afins.

2002

- Resolução CONAMA nº 313/2002 – institui o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos, determinando sua obrigatoriedade e estabelecendo critérios de elaboração.

2005

- Resolução CONAMA nº 362/2005 – dispõe sobre o recolhimento, coleta e destinação final de óleo lubrificante usado ou contaminado. Determina que todo óleo lubrificante usado ou contaminado deve ser recolhido, coletado e ter uma destinação final de modo que não afete negativamente o meio ambiente e propicie a máxima recuperação dos constituintes nele contidos, conforme previsto nesta resolução.

2007

- Lei Federal nº 11.445/2007 – Política Nacional de Saneamento Básico: estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico.

2008

- Resolução CONAMA nº 401/2008 – estabelece os limites máximos de chumbo, cádmio e mercúrio para pilhas e baterias comercializadas no território nacional e os critérios e padrões para seu gerenciamento ambientalmente adequado, substituindo a Resolução nº 257/1999.

2009

- Resolução CONAMA nº 416/2009 – dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada, substituindo as Resoluções nº 258/1999 e nº 301/2002.

2010

- Lei Federal nº 12.305/2010 – Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS): dispõe sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluindo os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público, e os instrumentos econômicos aplicáveis.
- Decreto nº 7.404/2010 – regulamenta o art. 33 da Lei nº 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos.
- Lei Municipal nº 001/2010 – Sistema de Limpeza Urbana do Município de Manaus: apresenta a organização do sistema de limpeza urbana do município de Manaus e autoriza o poder público a delegar a execução dos serviços públicos mediante concessão ou permissão.
- Relatório Final do JICA – Estudo para o desenvolvimento de uma solução integrada relativa à gestão de resíduos industriais no Polo Industrial de Manaus: até hoje, foi a única pesquisa dedicada aos resíduos industriais do PIM, com o objetivo de criar políticas públicas. Este documento continua sendo citado em todas as demais pesquisas sobre resíduos do Polo.

2011

- Lei Municipal nº 1.349/2011 – Plano Diretor Municipal de Resíduos Sólidos de Manaus: contempla questões de cunho técnico, ambiental, econômico e social, tais

como a melhoria da rede de infraestrutura de coleta e de tratamento dos resíduos gerados e a redução da geração de resíduos.

2012

- Instrução Normativa IBAMA nº 13/2012 – publica a Lista Brasileira de Resíduos Sólidos. As informações contidas nesta lista são utilizadas pelo Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras ou Utilizadoras de Recursos Ambientais, pelo Cadastro Nacional de Operadores de Resíduos Perigosos e pelo Sistema Nacional de Informações sobre Resíduos (SINIR) para caracterizar os resíduos sólidos.
- Lei Estadual nº 3.785/2012 – define os procedimentos e taxas para o licenciamento ambiental no Amazonas, assim como descreve e classifica as fontes poluidoras, apresentando uma tabela de códigos de atividades com potencial de impacto.
- Inventário Anual de Resíduos Sólidos Industriais do PIM – documento publicado pela SUFRAMA que representa, até hoje, o maior acervo de informações sobre resíduos industriais de Manaus. Essas informações foram a base para a discussão do Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Manaus, em 2015, e da Política Estadual de Resíduos Sólidos do Amazonas, em 2017.

2013

- Instrução Normativa IBAMA nº 01/2013 – regulamenta o Cadastro Nacional de Operadores de Resíduos Perigosos, instrumento para integração com o Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras ou Utilizadoras de Recursos Ambientais (CTF-APP).
- Instrução Normativa IBAMA nº 06/2013 – regulamenta o Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Ambientais (CTF-APP). Este cadastro é responsável por identificar as pessoas físicas e jurídicas sob controle ambiental, gerando informações para a gestão ambiental no Brasil.

2015

- Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Manaus - Apresenta um quadro sobre o gerenciamento e manejo dos resíduos sólidos e informações sobre o programa de coleta seletiva universalizada, perspectivas de desenvolvimento futuro e metas.

2016

- Decreto nº 8.892/2016 – cria a Comissão Nacional para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, com a finalidade de internalizar, difundir e dar transparência ao processo de implementação da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas, subscrita pela República Federativa do Brasil.

2017

- Lei Estadual nº 4.457/2017 – Política Estadual de Resíduos Sólidos do Amazonas: apresenta os princípios, objetivos e instrumentos da gestão e gerenciamento integrado dos resíduos sólidos e a responsabilidade compartilhada entre o setor público, o setor empresarial e a sociedade civil.

2019

- SINIR – criação do Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos, um sistema nacional de coleta de dados sobre resíduos, direcionado aos governos e operadores privados, abrangendo: o Manifesto de Transporte de Resíduos e o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos.
- Lei Municipal nº 2.452/2019 – estabelece o Sistema Municipal de Vigilância e Controle de Transporte para tratamento, reciclagem e disposição final de resíduos sólidos. Cria o Controle de Transporte de Resíduos (CTR) municipal, um documento concedido às empresas de serviços de limpeza urbana, contendo todas as informações sobre cada carga de resíduos a ser transportada.

2020

- Portaria MMA nº 280/2020 – institui o Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR) como um documento online nacional, que serve como ferramenta de gestão e documento declaratório para a implantação e operacionalização do Plano de

Gerenciamento de Resíduos, além de dispor sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos.

- Decreto nº 41.863/2020 – estabelece normas para a execução da Política Estadual de Resíduos Sólidos e sua articulação com a Política Estadual de Meio Ambiente, além de integrá-la às Políticas Estaduais de Saúde, Saneamento Básico e Educação.

2022

- Decreto nº 11.043/2022 – o Plano Nacional de Resíduos Sólidos representa a estratégia de longo prazo em âmbito nacional para operacionalizar as disposições legais, princípios, objetivos e diretrizes da política. O plano inicia com um diagnóstico da situação dos resíduos sólidos no país, seguido da proposição de cenários, contemplando tendências nacionais, internacionais e macroeconômicas. Com base nas premissas consideradas nesses capítulos iniciais, são propostas metas, diretrizes, projetos, programas e ações voltadas à consecução dos objetivos da lei para um horizonte de 20 anos.
- Decreto nº 11.044/2022 – institui o Certificado de Crédito de Reciclagem, aplicando-se às pessoas jurídicas de direito público ou privado que desenvolvam ações relacionadas à logística reversa, à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos e que emitam ou adquiram créditos de reciclagem.
- Decreto nº 10.936/2022 – anula decretos anteriores e regulamenta a Política Nacional de Resíduos Sólidos.

A partir deste levantamento, podemos observar que o Polo Industrial de Manaus, dentro do cenário federal, estadual e municipal, possui um rico arcabouço legal de normas de controle e orientações para a promoção de uma gestão sustentável de resíduos sólidos. Além disso, temos acesso a conteúdos internacionais de países que estão mais avançados na discussão do tema.

No entanto, as legislações nacionais ainda não abordam especificamente o tema da Economia Circular, e as legislações estaduais e municipais estão muito aquém do que preveem as normas nacionais. No Amazonas, não existem ações efetivas voltadas para o tratamento sustentável dos resíduos industriais, que possam reverter ou minimizar os impactos ambientais de uma produção industrial em larga escala; ainda trabalhamos com um sistema linear de produção.

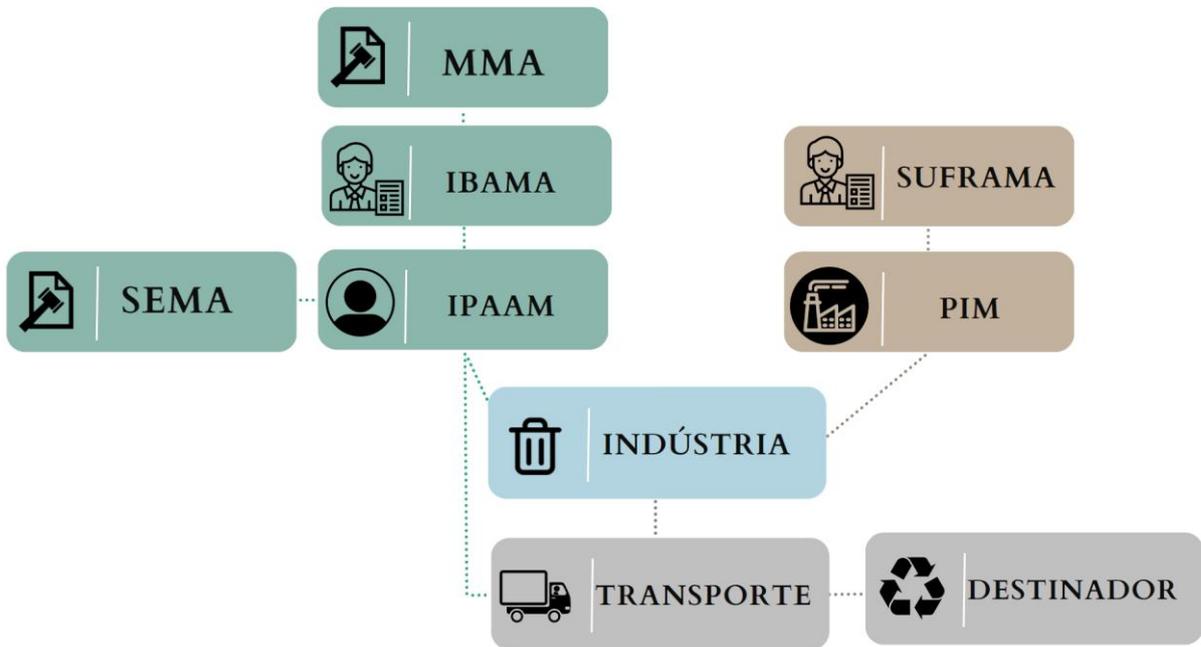
Uma solução seria a criação de um Plano de Economia Circular para o PIM, com a participação de múltiplos agentes que possam contribuir para a discussão técnica e científica sobre o tema, abordando a realidade amazônica e o contexto da produção industrial local.

2.3. ATORES DA GOVERNANÇA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DO PIM

O processo de gestão e gerenciamento dos resíduos sólidos industriais envolve uma série de atores com papéis definidos pela legislação ambiental para o controle dos fluxos de geração, coleta, acondicionamento, transporte, beneficiamento, tratamento e disposição final. Para que esse processo seja categorizado como sustentável, todos os atores devem promover ações de controle ambiental dos riscos associados às suas atividades. Assim, é necessário que o papel de cada responsável esteja bem definido por meio de normas, legislações, programas de gestão ou outros instrumentos de governança, para que a responsabilização jurídica funcione como um mecanismo de controle e prevenção da poluição ambiental.

A Figura 9 representa a disposição da hierarquia dos atores que participam da governança e da gestão dos resíduos sólidos industriais do Polo Industrial de Manaus (PIM).

Figura 9: Atores da gestão de Resíduos Industriais do PIM



Elaboração: Vanessa Meireles, 2022.

Apresentamos, a seguir, o papel, as responsabilidades e as condições do contexto atual de cada um dos atores.

MMA

O Ministério do Meio Ambiente (MMA) é responsável por desenvolver políticas públicas ambientais de forma articulada com o conjunto de atores públicos para a proteção do meio ambiente. O MMA atua em duas frentes principais na gestão de resíduos sólidos industriais: o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que é um órgão consultivo e deliberativo responsável pela elaboração de normas, resoluções e proposições de lei; e o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), que atua como órgão executor.

O MMA coordena e articula o Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR), um instrumento da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Trata-se de uma plataforma digital utilizada para coletar, armazenar, organizar e disponibilizar informações sobre a geração, destinação, transporte, tratamento e disposição final dos resíduos sólidos no país. Os dados auto declaratórios deste sistema geram os inventários estaduais e nacional de resíduos sólidos, sendo essa a fonte dos dados de geração de Resíduos Sólidos

Industriais (RSI) do Polo Industrial de Manaus (PIM). Contudo, os inventários de resíduos de Manaus de 2021 e 2022 não foram publicados no site.

Apesar de contarmos com um instrumento nacional de controle dos RSI, no qual as indústrias do PIM devem apresentar suas informações em tempo real, em 2020 apenas 5% estavam aderindo ao sistema. A partir dessas informações, podemos inferir que o órgão responsável carece de mecanismos para exigir maior aderência ao uso do sistema, por meio de notificações e exigências legais, uma vez que a obrigatoriedade de repasse de informações é uma exigência da Portaria MMA nº 280/2020. A subnotificação de dados impede a geração de informações reais sobre a quantidade de geração e tratamento de RSI na cidade de Manaus, mascarando dados importantes para o desenvolvimento de pesquisas e projetos que possam valorizar esses resíduos.

IBAMA

O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) é o órgão ambiental federal responsável por fiscalizar e fazer cumprir a legislação ambiental brasileira e as normas do CONAMA. Entre suas atribuições, estão: os objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos, a elaboração do Inventário Anual de Resíduos Sólidos exigido pela Resolução CONAMA nº 313/2002 e a entrega do Relatório Anual de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Ambientais (RAPP), conforme a Instrução Normativa IBAMA nº 22/2021.

O IBAMA também é responsável por promover estudos e pesquisas sobre o tema. No Amazonas, não dispomos de informações fidedignas e condizentes com a realidade sobre os resíduos sólidos industriais (RSI) do Polo. Os dados do RAPP das indústrias de Manaus são migrados para o SINIR e compõem o Inventário Estadual de Resíduos, que é uma ferramenta importante para o planejamento e a gestão de resíduos sólidos, permitindo a identificação de oportunidades de redução, reutilização e reciclagem de resíduos. A fiscalização das indústrias do PIM foi delegada ao órgão ambiental estadual IPAAM.

SUFRAMA

A Superintendência da Zona Franca de Manaus (SUFRAMA) é a autarquia vinculada ao Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços, responsável por administrar a Zona Franca de Manaus (ZFM) e por construir um modelo de desenvolvimento regional que utilize de forma sustentável os recursos naturais. A SUFRAMA gerencia o Polo Industrial de

Manaus e concede incentivos fiscais para atrair novas indústrias para a região. É ela quem avalia os projetos que podem ser implantados no PIM e, assim, controla as áreas de maior interesse para investimento.

Cabe à SUFRAMA também a gestão de dados do PIM sobre faturamento, importação, exportação, consumo de energia, entre outros. Em 2010, a autarquia realizou pesquisas sobre o Inventário de Resíduos Industriais do PIM, que até hoje são os únicos dados exclusivos sobre a geração de Resíduos Sólidos (RS) do PIM. Contudo, o levantamento de dados que deveria ser anual foi interrompido, e os dados mais atualizados sobre o tema são de 2013, sendo utilizados até hoje em outros documentos de pesquisa e políticas públicas.

IPAAM

O Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas (IPAAM) é o órgão estadual de meio ambiente que, por concepção do IBAMA (Resolução CONAMA nº 237/1997), é responsável por licenciar, fiscalizar e receber das indústrias e grandes geradores de resíduos as informações pertinentes sobre os Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) e os Certificados de Destinação de Resíduos (CDR). Esses documentos são exigidos nos processos de concessão e renovação do licenciamento ambiental.

Contudo, o órgão não possui sistemas informatizados de controle dos dados; as informações recebidas das indústrias são avaliadas pelos técnicos do IPAAM e servem apenas para o processo de licenciamento. Não foram encontrados no IPAAM dados sobre a geração de resíduos do Polo Industrial de Manaus (PIM).

O IPAAM também licencia as empresas de transporte e destinação de resíduos e tem acesso às informações de sistemas de tratamento autorizados a operar na cidade. Entretanto, essas informações não são sistematizadas e não há documentos publicados. Nesse cenário, o IPAAM não possui um dimensionamento real do que geramos de resíduos industriais, apesar de a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e a Resolução CONAMA nº 313/2002 definirem como obrigatória a elaboração do inventário de resíduos sólidos industriais por todas as indústrias.

SEMA

A Secretaria Estadual de Meio Ambiente (SEMA), órgão do Estado, elaborou, em 2016, o Plano de Resíduos Sólidos e de Coleta Seletiva da Região Metropolitana de Manaus (PERS-AM). Este documento aborda e determina como deve ser realizada a gestão de resíduos no

Estado. No entanto, o documento publicado em 2017 não apresentou pesquisas recentes sobre os resíduos industriais de Manaus.

A SEMA possui uma Assessoria de Resíduos Sólidos, responsável pelo Plano Estadual de Resíduos Sólidos e pelo Plano de Resíduos Sólidos e Coleta Seletiva da Região Metropolitana de Manaus. Ambos os documentos, contudo, não incluem pesquisas sobre os Resíduos Sólidos Industriais (RSI) do PIM.

PIM

O Polo Industrial de Manaus (PIM), gerido pela Suframa, é formado por indústrias nacionais e estrangeiras que atuam em Manaus e na região metropolitana. Para que uma empresa faça parte do PIM e receba os incentivos fiscais oferecidos pelo grupo, é necessário atender a diversos requisitos e submeter seus projetos de produção à avaliação da Coordenação-Geral de Análise de Projetos Industriais.

Para ter um projeto aprovado pela Suframa e obter autorização para operar no PIM, as empresas precisam atender a alguns requisitos, entre eles: estar na Área de Livre Comércio (ALC) da Suframa, possuir documentos comprobatórios da empresa, apresentar um plano de trabalho, projetos de engenharia/arquitetura, certidões negativas, licença ambiental e obter a certificação ISO 9001 (Sistema de Gestão da Qualidade). As empresas devem apresentar a documentação exigida junto ao Processo Produtivo Básico (PPB), que descreve como funcionará a operação da empresa e os recursos e insumos necessários para sua produção. O PIM conta com 494 indústrias distribuídas em 19 setores, o que demonstra o grande número de processos produtivos que geram variados resíduos.

INDÚSTRIA

Os geradores de resíduos industriais são empresas que fazem parte do Polo Industrial de Manaus (PIM) e são fiscalizadas pelo Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas (IPAAM) para atender às condicionantes das licenças de operação. Cada indústria possui Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, individuais e destina seus resíduos de acordo com seus critérios de governança interna. Não há cobrança de indicadores ou metas de destinação por parte dos órgãos de fiscalização.

Os processos produtivos das indústrias do PIM são muito variados, gerando resíduos diversos, que podem ser recicláveis ou não.

TRANSPORTADORES

As empresas de transporte de resíduos não fazem parte obrigatoriamente do Polo Industrial de Manaus (PIM), mas possuem licenciamento ambiental expedido pelo Instituto de Proteção Ambiental do Amazonas (IPAAM) e passam por vistoria. Todo transporte de resíduos deve ser realizado com a emissão do Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR), expedido pelo Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR). Esse documento garante que os dados de geração, transporte e destinação sejam incorporados às estatísticas.

Os veículos que realizam o transporte de resíduos devem atender às exigências das normas de Transporte Terrestre de Resíduos (ABNT/NBR nº 13.221/2003) e de Identificação para o Transporte Terrestre, Manuseio, Movimentação e Armazenamento de Produtos (ABNT/NBR nº 7.500/2003). No entanto, não encontramos informações no IPAAM sobre a fiscalização do transporte de resíduos, o que dificulta a avaliação das condições de segurança dos veículos ou das cargas contendo resíduos.

DESTINADORES

Atualmente, existem 36 empresas cadastradas no site do IPAAM para fornecer serviços de tratamento de resíduos (<http://www.ipaam.am.gov.br/lista-prestadores-de-servicos-cadastrados>). Essas empresas também utilizam o SINIR para receber os resíduos e, após o tratamento, fornecem o Certificado de Destinação.

Em Manaus, identificamos diversas falhas no fluxo de controle de dados e informações sobre os resíduos industriais do PIM, o que demonstra que a governança sobre o tema não está sendo adequadamente desempenhada pelos envolvidos. De maneira geral, podemos observar que os atores identificados na gestão dos resíduos industriais do PIM não possuem uma gestão integrada. Apesar da ampla legislação e das normas de controle pertinentes, as ações desenvolvidas até hoje não contemplam um plano de gestão efetivo, o que pode ser uma barreira para a implantação de um projeto de Economia Circular.

CAPÍTULO 3

ECONOMIA CIRCULAR COMO MECANISMO DE SUSTENTABILIDADE PARA O POLO INDUSTRIAL DE MANAUS

A implantação de sistemas de Economia Circular (com abordagem “berço a berço”) no Polo Industrial de Manaus pode oferecer às indústrias e à governança que rege o PIM uma oportunidade para reinventar o modelo de produção local, tornando-o mais sustentável e competitivo mundialmente. Essa abordagem pode desenvolver um mercado local em consonância com os mercados mais modernos e ambientalmente sustentáveis, além de responder à necessidade de manter a produção industrial em equilíbrio com o meio ambiente e a sociedade.

3.1. CARACTERIZAÇÃO DO POLO INDUSTRIAL DE MANAUS

A Amazônia brasileira é historicamente uma região de grande interesse no debate internacional sobre a preservação ambiental e a conservação de seus recursos naturais. A ocupação da Amazônia, especialmente na zona de limite territorial internacional, sempre foi um objetivo do governo brasileiro como forma de legitimar o domínio sobre o território.

“No primeiro governo de Getúlio Vargas, no período do Estado Novo (1937-1945), a Amazônia já era vista como uma região onde se concentravam grandes problemas que a administração nacional deveria enfrentar, principalmente no que diz respeito ao atraso regional, à vasta extensão territorial, ao despovoamento e às fronteiras com os países vizinhos. Ao reboque dessa constatação, iniciam-se tentativas de integrar a Amazônia à economia nacional.” (FERREIRA, 2005).

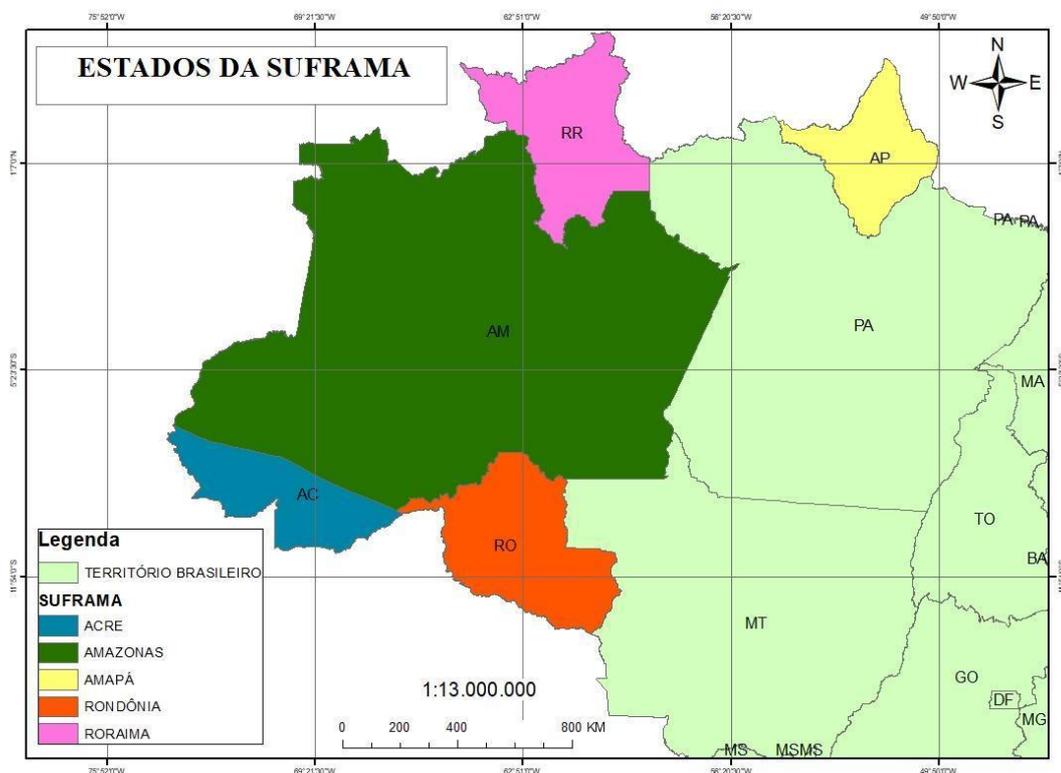
Com esse objetivo, foi criada a Zona Franca de Manaus, um projeto de desenvolvimento concebido inicialmente para estabelecer uma zona de livre comércio na Amazônia, servindo como modelo de desenvolvimento regional em três frentes: o comércio, a agropecuária e a indústria. No ano de 1957, por meio do Decreto-Lei nº 3.173, de junho de 1957 (BRASIL, 1957), foi legalmente instituída a Zona Franca de Manaus, um modelo de intervenção governamental para o desenvolvimento regional, com sede em Manaus e abrangendo outros quatro Estados da Amazônia Ocidental.

Os poderes da Zona Franca de Manaus foram atualizados pela Lei de Informática nº 8.387, de dezembro de 1991, bem como pelas alterações promovidas pela Lei nº 13.674, de junho de 2018, e pela Lei nº 13.969, de dezembro de 2019.

“A Zona Franca de Manaus (ZFM) inicialmente tinha como objetivo o armazenamento ou depósito, guarda, conservação, beneficiamento e retirada de mercadorias, artigos e produtos de qualquer natureza, provenientes do estrangeiro e destinados ao consumo interno da Amazônia, assim como dos países interessados, limítrofes do Brasil, ou que sejam banhados por águas tributárias do Rio Amazonas.” (FERREIRA; BOTELHO, 2014).

Os empreendimentos instalados na área de atuação da Zona Franca de Manaus (ZFM) são administrados pela SUFRAMA. De acordo com o Decreto-Lei nº 288/1967, art. 10, a autarquia é responsável por autorizar, ou não, a instalação de novos projetos industriais na ZFM e conceder benefícios. Com sede em Manaus-AM, a SUFRAMA abrange os Estados do Acre, Roraima, Rondônia, Amazonas e Amapá. O mapa a seguir (Figura 10) demonstra a área de abrangência da SUFRAMA, que atualmente é gerida pelo Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços (2023).

Figura 10: Mapa dos Estados sob jurisdição da SUFRAMA.



Fonte: Dirane(2022).

O Amazonas é o maior Estado brasileiro, com uma extensão territorial de aproximadamente 1,5 milhão de km² e uma estimativa populacional de 4,2 milhões de

habitantes. Faz fronteira com quatro Estados (Acre, Rondônia, Pará e Roraima) e três países (Peru, Colômbia e Venezuela). A capital, Manaus, está localizada à margem esquerda do Rio Negro e possui uma população estimada em 2,2 milhões de habitantes (IBGE, 2021). O Polo Industrial de Manaus também exerce grande influência na dinâmica territorial de Manaus, atraindo imigrantes de diversos Estados.

De acordo com a Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Amazonas (SEMA), aproximadamente 57% do território do Amazonas está demarcado por Unidades de Conservação (federais, estaduais e municipais) e terras indígenas, o que garante ao Estado a maior cobertura vegetal originária do país. A demarcação e o controle do uso do território não impediram o desenvolvimento econômico do Estado, mas têm funcionado como uma barreira para o avanço do desmatamento, que é impulsionado por outros modelos de desenvolvimento econômico mais ligados à extração mineral, pecuária e monoculturas predominantes nos Estados limítrofes.

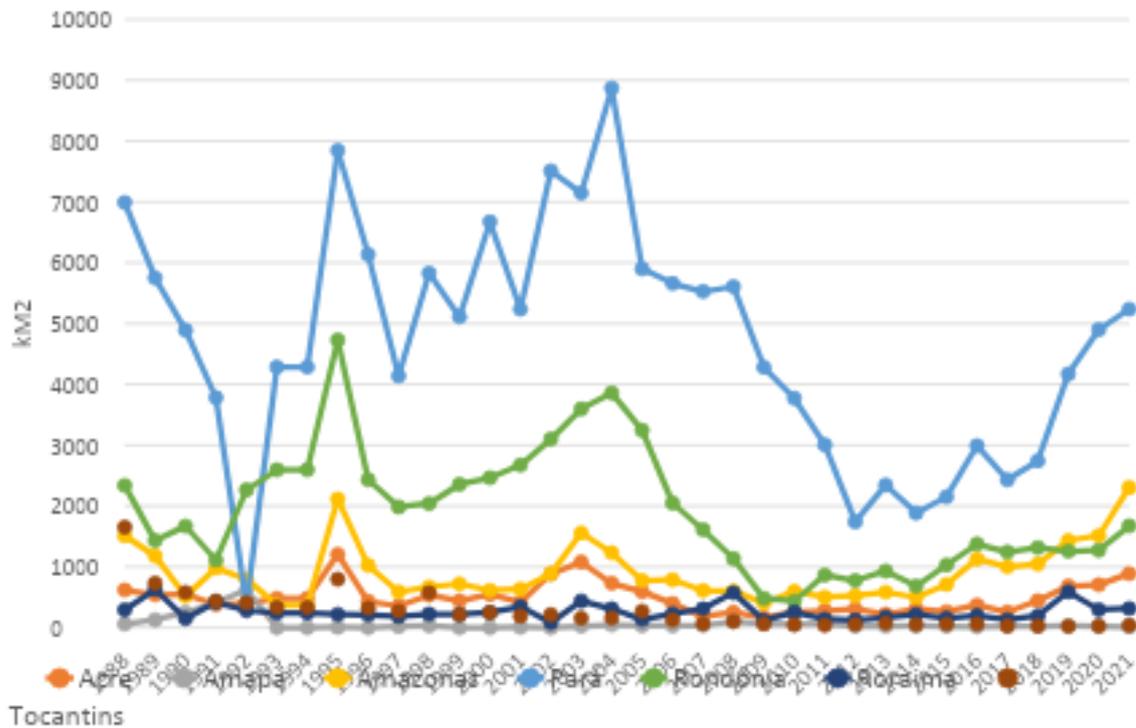
Autores como Rivas et al. (2009), Seráfico e Seráfico (2005) e Ferreira et al. (2005) fornecem uma base para afirmar que a criação do Polo Industrial em Manaus conferiu ao Amazonas características singulares, diferenciadas dos outros Estados da região. Em uma época de intenso desenvolvimento nacional, focado na exploração mineral e florestal e na intensificação da agricultura no Norte do Brasil, o incentivo ao desenvolvimento da industrialização no Amazonas, nos anos 1970, funcionou como uma alternativa para impedir o desmatamento na região, proporcionando oportunidades de desenvolvimento para o Estado, ao mesmo tempo em que preservava a floresta.

Os Gráficos 3 e 4 foram elaborados com informações do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e demonstram a série histórica de 32 anos de acompanhamento das taxas de desmatamento da região Norte do Brasil. Apesar de ser o maior Estado em extensão territorial, o Amazonas apresenta algumas das menores taxas de desmatamento. O Estado do Pará possui um processo de ocupação bastante semelhante ao do Amazonas, com uma população estimada em 8,7 milhões de habitantes, mas seu modelo de desenvolvimento econômico está ligado à exploração florestal e à mineração, destacando-se como campeão de desmatamento no Norte do Brasil.

O Estado de Rondônia, o segundo em desmatamento na região, tem seu desenvolvimento econômico baseado na agricultura e na pecuária, além de ser conhecido por promover queimadas para a limpeza de pastos. O Amazonas, mesmo sendo o maior Estado da

região, apresenta uma dinâmica de desmatamento mais próxima à dos demais Estados com menor extensão territorial e que apresentam também menores taxas de desmatamento (Gráfico 3).

Gráfico 3: Evolução da taxa de desmatamento nos estados da região norte do Brasil.

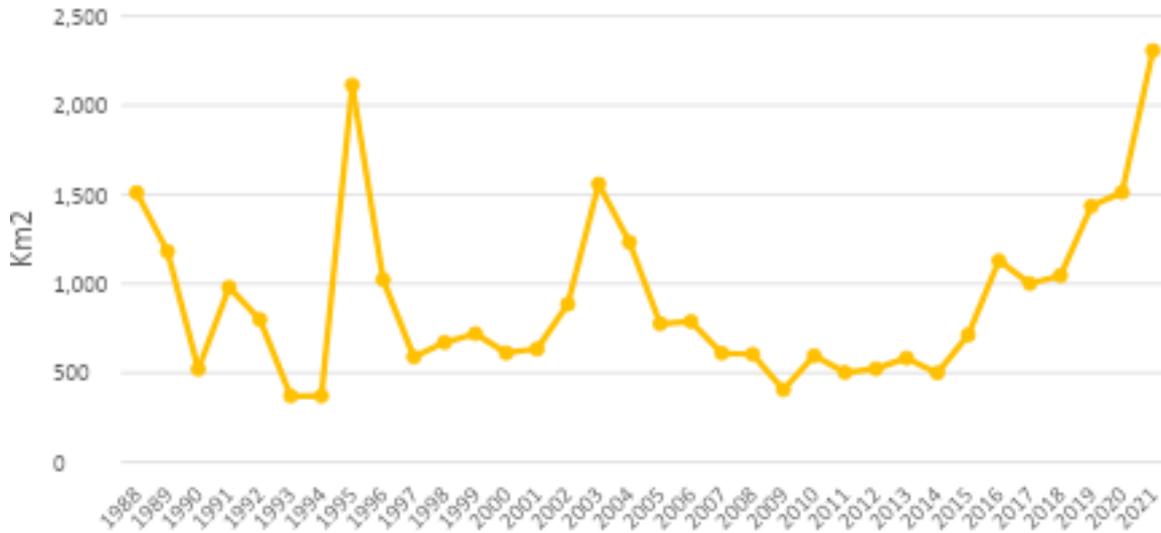


Elaboração: Meireles, 2022.

O desmatamento na região Norte do Brasil é uma preocupação mundial, devido aos serviços ambientais desempenhados pela floresta amazônica. O avanço do desmatamento na região, impulsionado pela exploração madeireira, mineral e agropecuária, deixa um rastro de impactos irreversíveis. A delimitação do território, por meio da criação de áreas protegidas, é uma ação para conter esse avanço; no entanto, é necessário que a população local tenha outras fontes econômicas de desenvolvimento. Esse é um papel do poder público: promover alternativas de desenvolvimento para a região que não dependam do uso da floresta.

O Gráfico 4 destaca a taxa de desmatamento do Amazonas, que apresenta picos nos anos de 1995 e 2003 e, desde então, vinha apresentando queda. Em 2015, voltou a crescer e tem mostrado elevação nas áreas de desmatamento.

Gráfico 4: Evolução da taxa de desmatamento no estado do Amazonas



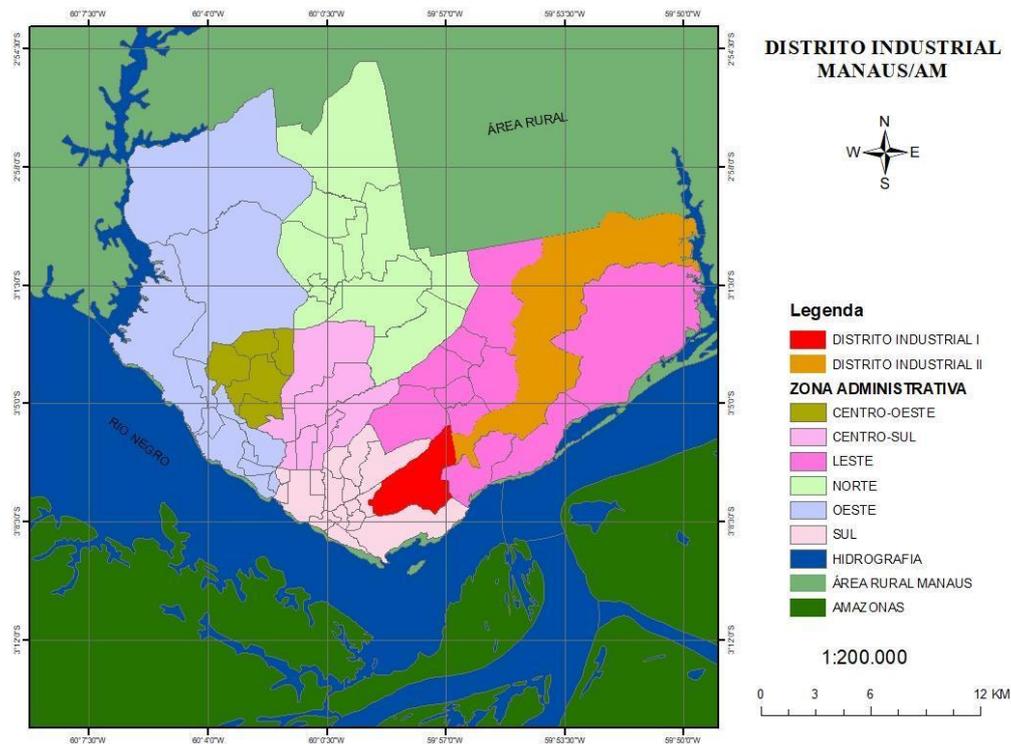
Fonte: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, 2022.

Segundo Rivas *et al.* (2009), a implantação do Polo Industrial tem ligação direta com os altos níveis de conservação da natureza e da biodiversidade, demonstrando que esse modelo industrial, além de beneficiar a economia local e contribuir para a geração do PIB nacional, tem produzido externalidades socioambientais positivas relacionadas ao custo evitado do desmatamento, como: atração de novos investimentos econômicos, estímulo a pesquisas, geração de empregos diretos e indiretos, incentivo à educação e à formação local em parcerias com escolas técnicas, o SENAI e aporte financeiro à Universidade do Estado do Amazonas (UEA).

A economia manauara gira em torno das indústrias, e a continuidade do PIM é de fundamental importância para a dinâmica econômica, social e ambiental do Estado. A concentração de indústrias no centro do Estado, com a presença do PIM e o cinturão de áreas protegidas na região centro-sul do Amazonas, é um fator benéfico para a manutenção da cobertura vegetal e a sustentabilidade da região.

O mapa representado na Figura 11 mostra a divisão urbana da cidade de Manaus, com destaque para os bairros Distrito Industrial I e Distrito Industrial II, onde estão concentradas a maioria das indústrias do Polo Industrial de Manaus.

Figura 11: Mapa de destaque dos bairros do Distrito Industrial em Manaus



Elaboração: Dirane (2022).

A zona de criação do Distrito Industrial está localizada próxima a portos aduaneiros, responsáveis por receber matéria-prima e insumos, além de escoar a produção. A logística no Amazonas é predominantemente fluvial, pois o Estado não possui uma malha rodoviária adequada para o transporte logístico em larga escala, assim como também não conta com ferrovias. A logística em Manaus é uma das fraquezas do PIM.

A predominância do modal rodoviário é uma característica nacional. A BR-319 é a única rodovia federal que liga Manaus ao sul do Amazonas e, a partir daí, a outros Estados. No entanto, ela passa por áreas de preservação e não possui infraestrutura adequada para viabilizar um transporte seguro em todos os períodos do ano.

Entre as áreas de atuação da Zona Franca, a frente industrial concentrada em Manaus foi a que mais prosperou, criando, no interior da Amazônia, um polo industrial dotado de condições para a importação de matéria-prima e insumos, produção e escoamento de produtos para abastecer o mercado nacional e internacional. Sob a tutela do Estado, o Polo Industrial de Manaus (PIM) atendeu aos interesses nacionais e internacionais, visando indiretamente proteger a região do desmatamento e, diretamente, promover o desenvolvimento econômico local. A implantação do PIM foi um fator determinante para a estrutura econômica que perdura

até hoje na cidade de Manaus e para a sustentabilidade da região, o que se reflete no atual contexto socioambiental da área.

As indústrias instaladas no PIM estão ligadas principalmente à produção de eletrônicos, materiais plásticos, veículos de duas rodas, metalurgia, mecânica, bebidas, papel, produtos químicos, farmacêuticos, entre outros. Isso cria uma demanda constante por matérias-primas e gera resíduos industriais, o que pode representar um grande problema ambiental ou uma oportunidade para a criação de negócios que possam solucionar ambas as demandas. Avaliando as condições apresentadas nesta caracterização, enxergamos no Polo Industrial de Manaus as condições básicas para o desenvolvimento de um sistema de gestão ambiental baseado na Economia Circular, com o objetivo de promover a sustentabilidade.

A economia do Estado do Amazonas depende fundamentalmente da operação do PIM. Segundo o IBGE (2019), a produção industrial do polo gera uma receita de mais de R\$100 bilhões por ano, atribuindo a Manaus o 6º maior PIB do Brasil. Qualquer ataque à continuidade dos incentivos fiscais exclusivos oferecidos às empresas aqui instaladas gera insegurança para novos investimentos privados em tecnologias e processos de inovação. Portanto, para se pensar em um PIM com sistemas de Economia Circular, é primordial garantir sua perenidade. Em 2014, foi publicada a Emenda Constitucional nº 83/2014, que mantém o prazo de vigência dos benefícios da Zona Franca de Manaus até 2073. Contudo, qualquer incentivo semelhante ao que é oferecido no PIM e que seja disponibilizado em outros Estados representa riscos à continuidade das operações industriais em Manaus.

A Suframa possui um conjunto de indicadores que medem dados operacionais do PIM, como produção, faturamento, investimentos, geração de empregos, entre outros, que são sistematizados para uma avaliação contínua das empresas que recebem ou podem vir a deixar de receber os benefícios. Os últimos dados divulgados em 2022 apontaram que o PIM possui 494 empresas com projetos aprovados, aptas a receber incentivos fiscais e a desenvolver suas atividades em todo o território de abrangência. A tabela a seguir apresenta a divisão dessas empresas em seus setores de atuação e a evolução desses dados entre os anos de 2012, quando foram publicados os dados do Inventário de Resíduos do PIM, 2018, na publicação do perfil das empresas com projetos aprovados, e 2022, com dados fornecidos pelos indicadores da Suframa.

São indústrias com processos produtivos variados, divididos em 19 setores, conforme apresentado na Tabela 3, com maior representatividade de indústrias ligadas aos setores de material elétrico, eletrônico, materiais plásticos, transportes e metalurgia.

Tabela 3 : Representação das empresas cadastradas na SUFRAMA com projetos aprovadas para operar no PIM.

PERFIL DAS EMPRESAS COM PROJETOS APROVADOS PELA SUFRAMA				
SETOR		PROJETOS APROVADOS		
		2012	2018	2022
1	Material elétrico, eletrônico e de comunicação	122	127	108
2	Produtos das matérias plásticas	72	81	107
3	Diversos	16	21	24
4	Materiais de transporte (Duas rodas, naval e outras)	44	53	47
5	Metalúrgico	42	51	54
6	Produtos químicos e farmacêuticos	26	30	50
7	Mecânico	30	35	22
8	Bebidas não alcoólicas e seus concentrados	29	31	8
9	Editorial e gráfico	12	13	13
10	Papel, papelão e celulose	15	17	18
11	Produtos alimentícios	4	6	19
12	Construção	2	4	0
13	Mobiliário	6	7	6
14	Madeira	3	4	2
15	Minerais não metálicos	5	6	11
16	Produtos derivados da borracha	4	5	1
17	Vestuário, calçados, artigos de tecidos e de viagem	1	3	3
18	Produtos têxteis	2	2	0
19	Couros, peles e produtos similares	0	0	1
TOTAL		435	496	494

* Dados extraídos dos relatórios de projetos aprovados pelo Conselho de Administração da Suframa e preenchimento dos indicadores industriais.

Fonte: SUFRAMA, 2012, 2018 e 2022.

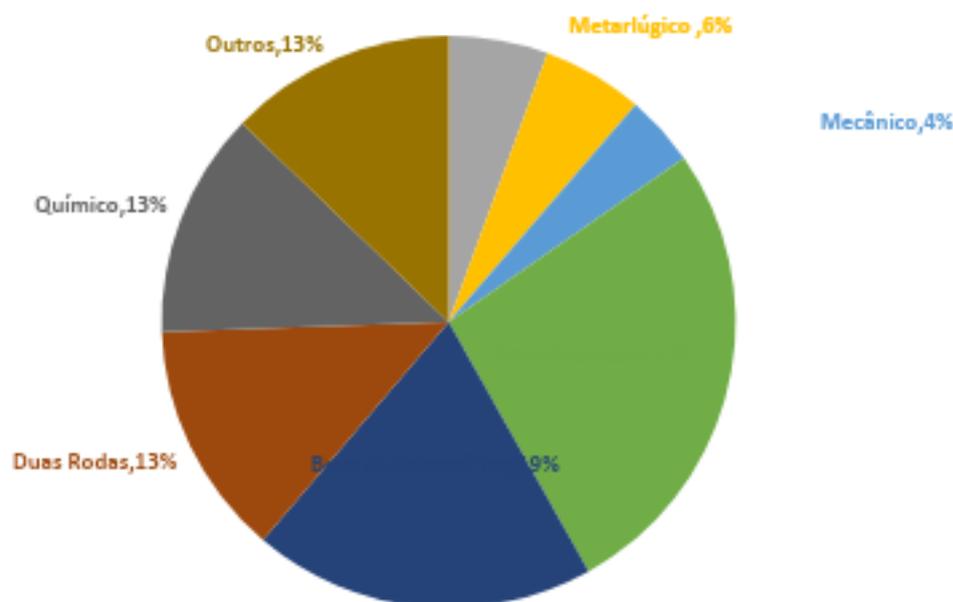
As empresas com projetos aprovados para operar no Polo Industrial de Manaus (PIM) estão subdivididas de acordo com seus processos produtivos, entre eles: eletroeletrônicos, duas rodas, bens de informática, metalúrgico, químicos e outros. O setor de eletrônicos é o maior em

quantidade de empresas, sendo subdividido em: bens de informática, componentes e eletrônicos.

Entre os subsetores, destacam-se: o de eletrônicos, representado por grandes indústrias como Electrolux, Universal e Transire; o de bens de informática, com empresas como Nokia, CCE e Samsung; e o de duas rodas, representado principalmente por Honda, Yamaha, Dafra e Caloi.

O Gráfico 5 ilustra a contribuição de cada subsetor no total de empresas do PIM.

Gráfico 5: Participação dos subsetores de atividades no faturamento do PIM 2022



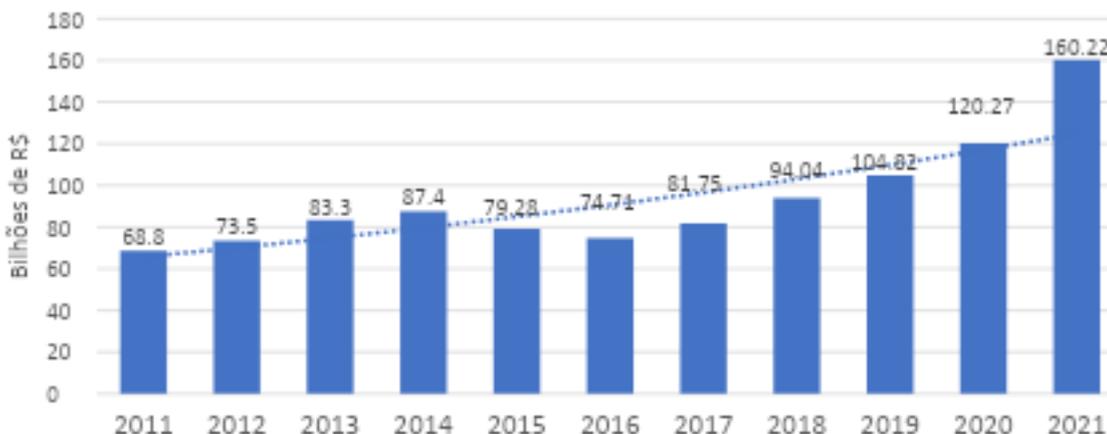
Fonte: SUFRAMA, 2022.

Pela representação do Gráfico 5 e conforme mencionado anteriormente, observamos que as áreas com maior concentração de empresas são as de eletroeletrônicos e bens de informática. Ambas apresentam características de produtos semelhantes, o que pode ser um ponto de atenção para a criação de sistemas de simbiose industrial, promovendo processos de produção interdependentes. Isso representa uma possível oportunidade de negócio dentro da lógica da Economia Circular.

O PIM é o principal agente econômico do Estado do Amazonas. O histórico apresentado no Gráfico 6 mostra o faturamento dos últimos 11 anos, destacando a curva ascendente que,

apesar dos impactos causados pela pandemia da Covid-19, registrou em 2021 um faturamento recorde na casa dos R\$160 bilhões (SUFRAMA, 2022).

Gráfico 6: Histórico de faturamento da produção de bens no PIM.

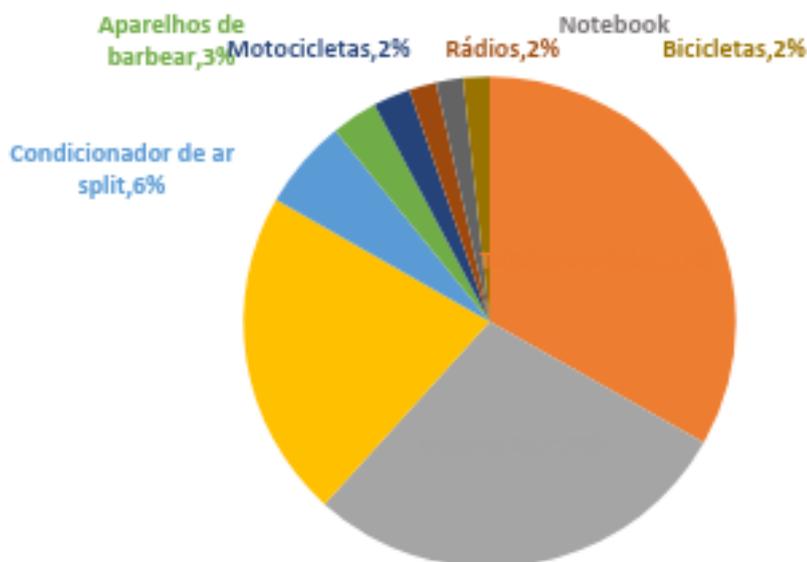


Fonte: SUFRAMA, 2022.

Do ponto de vista econômico, a operação do Polo Industrial de Manaus (PIM) é extremamente positiva para o Estado do Amazonas, influenciando diretamente a dinâmica econômica do Estado, especialmente na capital, onde se concentra a maioria das indústrias. O faturamento superior a 100 bilhões de reais atrai para a região outras empresas que se beneficiam, direta ou indiretamente, das demandas do polo, como hotelaria, alimentação, transporte e uma variedade de prestadores de serviços. Essas atividades contribuem significativamente para a economia local, embora não estejam representadas na contribuição demonstrada no gráfico acima.

O PIM é diversificado, composto principalmente por indústrias de montagem, que importam parte de seus componentes e insumos do exterior, especialmente de países asiáticos. Apesar das particularidades logísticas da região, o sistema logístico é bem estruturado e consegue atender às necessidades de produção. De acordo com dados da SUFRAMA (Gráfico 7), entre os principais artigos produzidos no polo, destacam-se: telefones celulares, televisores, relógios e aparelhos de ar-condicionado.

Gráfico 7: Principais produtos por setor produtivo do Polo Industrial de Manaus



Fonte: SUFRAMA, 2022.

O fato de os principais produtos do Polo Industrial de Manaus (PIM) pertencerem à mesma cadeia de produção leva-nos a considerar que os resíduos gerados por esses processos podem ser bastante semelhantes. Esse é um ponto positivo para uma avaliação inicial de projetos de Economia Circular, os quais podem se concentrar em uma lista específica de resíduos ou em uma classe determinada. A análise do Gráfico 7, que reflete as indústrias do PIM por setor produtivo, conforme mostrado no Gráfico 5, corrobora nossa percepção de que os projetos de Economia Circular para o PIM devem ser iniciados pelas indústrias do setor de eletrônicos.

Grandes indústrias transnacionais estão instaladas no PIM, gerando empregos, renda e movimentando o comércio local, além de atrair pessoas e novos empreendimentos. No entanto, também surgiram impactos ambientais decorrentes da operacionalização do polo, os quais inicialmente não foram contabilizados nas decisões relativas à sua manutenção. Conforme observado por Seráfico e Seráfico (2005), a Zona Franca de Manaus, apesar das constantes instabilidades institucionais e da baixa governança, inclui a periférica Amazônia nas redes da economia global, por meio de empresas multinacionais. O PIM é composto por indústrias locais, nacionais e transnacionais que, embora possuam origem conhecida, não têm fronteiras ou territórios definidos, deslocando suas linhas de produção para localidades que ofereçam acordos comerciais e fiscais mais vantajosos, com baixas exigências de contrapartida.

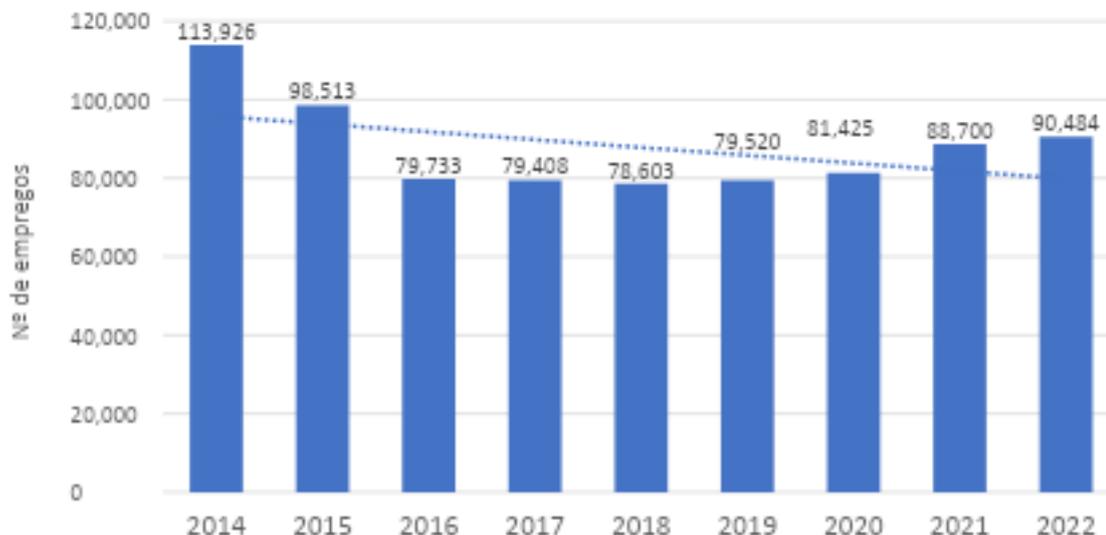
O Brasil, por exemplo, atrai a produção internacional com isenções fiscais, facilidade de aquisição de áreas para instalação, flexibilização da legislação alfandegária, legislação ambiental permissiva, exigências comerciais reduzidas e oferta de instalações físicas e mão de obra de baixo custo. Esses fatores representam atrativos que condicionam a permanência das empresas no PIM e a atração de novos empreendimentos.

A empregabilidade e a oportunidade de novos negócios geradas pelo PIM criam uma demanda por profissionais técnicos qualificados, o que movimenta o setor educacional regional. Para a Economia Circular, a formação e a qualificação da mão de obra são pontos cruciais, pois os processos de valorização da matéria-prima exigem uma mudança cultural que deve ser promovida pelas próprias empresas. A tendência é que esse investimento em formação e sensibilização ambiental reflita-se para além do ambiente de trabalho.

De acordo com Ferreira e Botelho (2014), o custo da mão de obra em Manaus é um dos fatores preponderantes para a manutenção do PIM, visto que as empresas instaladas na região gastam, em média, até 10% de seu faturamento com o pagamento de mão de obra básica (chão de fábrica). Já os cargos que exigem formação especializada ou alta complexidade são, muitas vezes, ocupados por profissionais oriundos do país de origem da empresa ou de outros Estados do Brasil.

A geração de empregos é um dos principais impactos positivos atribuídos ao PIM, sendo utilizada como argumento para defender sua continuidade. No entanto, esse setor sofre fortes abalos decorrentes das flutuações da demanda de produção, influenciadas por fatores nacionais e internacionais. Entre os anos de 2016 e 2019, observou-se uma queda acentuada na geração de empregos diretos. O histograma a seguir (Gráfico 8) apresenta a evolução da geração de empregos diretos no PIM nos últimos nove anos, destacando o déficit ocorrido em 2018 e a retomada do crescimento nos anos subsequentes.

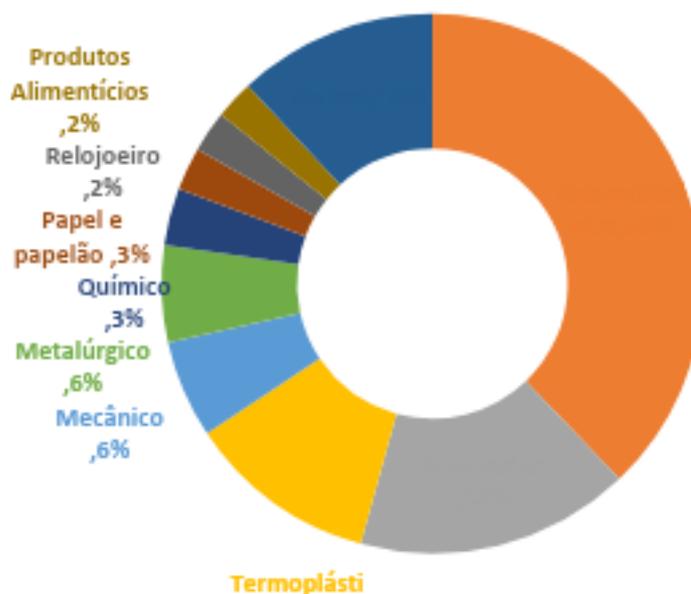
Gráfico 8: Histórico da geração de empregos diretos no Polo Industrial de Manaus



Fonte: SUFRAMA, 2022.

O setor que mais emprega no Polo Industrial de Manaus (PIM) é o de eletroeletrônicos, responsável por 38% dos mais de 90 mil empregos oferecidos em 2022. O Gráfico 9 apresenta a distribuição da mão de obra efetiva contratada pelos principais subsetores do PIM.

Gráfico 9: Emprego de mão de obra direta no Polo Industrial de Manaus



Fonte: SUFRAMA, 2022.

A retirada dos incentivos exclusivos das indústrias instaladas no Polo Industrial de Manaus (PIM) geraria uma série de danos econômicos, sociais e ambientais, com potencial para alterar toda a região, especialmente no que diz respeito à manutenção da floresta. É de fundamental importância defender a exclusividade dos benefícios fiscais aqui empregados; no entanto, é necessário ir além dos benefícios socioeconômicos diretos e avaliar os impactos ambientais associados ao PIM, sejam eles positivos ou negativos, para que possamos realmente pensar em uma produção sustentável na Amazônia.

Apesar de haver indícios da efetiva manutenção da floresta na região de abrangência da Zona Franca, outros impactos ambientais surgiram atrelados ao desenvolvimento industrial. A cidade de Manaus e a região do PIM apresentam um processo de desmatamento que difere daquele observado no sul do Amazonas e em outros Estados vizinhos da região Norte. Uma característica importante dessa região é a concentração de indústrias de manufatura que consomem matérias-primas e insumos desvinculados da extração florestal. No entanto, como em qualquer produção em larga escala, o PIM também apresenta uma concentração de impactos negativos da produção industrial que, com o passar do tempo, começaram a emergir por meio de alterações ambientais: uso e ocupação do solo, alteração da qualidade do ar, contaminação do solo, poluição hídrica, geração de resíduos, entre outros. Entre os diversos impactos ambientais negativos resultantes dos grandes conglomerados industriais, destaca-se a poluição ambiental causada pela geração de resíduos como um fator significativo, visto que todos os processos produtivos geram resíduos, e o potencial de impactos ambientais advindos da má gestão desses resíduos é amplo.

Para manter a operação dessas indústrias, além dos incentivos de atração, muitas vezes as questões ambientais relacionadas à poluição são negligenciadas e deveriam ser consideradas como contrapartida aos benefícios econômicos. Entre as fontes de externalidades negativas da poluição industrial, podemos destacar a geração de resíduos industriais.

A Economia Circular se apresenta como uma alternativa de desenvolvimento e incentivo à sustentabilidade das indústrias locais, promovendo, entre indústrias, governos e instituições, a implantação de sistemas que possam absorver os resíduos, criar empregos em todos os níveis de qualificação e controlar as externalidades e os impactos negativos sobre o meio ambiente. Nessa perspectiva, apresentamos a Economia Circular como uma alternativa atraente e viável para o desenvolvimento sustentável do Polo Industrial de Manaus.

A organização interna do PIM é altamente favorável à implantação da Economia Circular, uma vez que o agrupamento industrial elimina as dificuldades logísticas para o transporte dos resíduos, embora enfrente desafios relacionados ao baixo incentivo ao avanço tecnológico. A concentração de indústrias de diferentes ramos em uma área com incentivos fiscais garantidos pela União pode gerar as condições necessárias para o desenvolvimento de consórcios de Simbiose Industrial. As empresas podem trabalhar juntas em cadeias interdependentes, formando uma rede global que opere de maneira simbiótica, com núcleos organizados em setores de produção. Existem duas principais estratégias que podem ser implementadas para alcançar essa simbiose: o planejamento de todos os estágios relacionados ao mapeamento da relação de equilíbrio entre os aspectos ambientais e econômicos e a realização do curso operacional dessas questões (BARTHEL, 2016).

Um dos principais resíduos gerados no PIM são os plásticos (de diversos tipos), materiais altamente representativos da economia global e bastante valorizados nos processos de recuperação. A aplicação de princípios de Economia Circular à gestão desses resíduos representa um potencial significativo de benefícios ambientais, sociais e econômicos. Adotar uma abordagem circular para a produção, uso e reuso desses materiais oferece uma oportunidade de avançar em direção a uma economia que funcione a longo prazo.

Apesar da obrigatoriedade da licença ambiental para operação, concedida pelo órgão ambiental IPAAM, e da certificação voltada para a qualidade do produto, não há exigências, restrições ou incentivos à sustentabilidade ou ao controle dos impactos ambientais. Não existe nenhuma certificação ou selo que promova a eficiência ambiental da produção do PIM. A Suframa conta, ainda, com o Centro de Bionegócios da Amazônia (CBA), que possui profissionais técnicos que desenvolvem projetos e pesquisas científicas visando à criação e avaliação de produtos da região amazônica, bem como à implantação e execução de transferências de tecnologias. O foco, em 2022, é o desenvolvimento de pesquisas voltadas à bioeconomia, por meio de projetos que promovam o desenvolvimento de produtos oriundos da floresta, com o intuito de diversificar as atividades econômicas do Amazonas e alavancar cadeias produtivas locais.

A expertise do CBA, aliada à infraestrutura da SUFRAMA, com o incentivo do Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços e do Ministério do Meio Ambiente, assim como de outros órgãos de interesse, poderia propiciar a criação de um Núcleo de Pesquisas sobre Economia Circular, com projetos exclusivos para o PIM. Como órgão

governamental, é possível buscar financiamento nacional por meio de políticas público-privadas ou financiamento internacional por meio de fundos de proteção da Amazônia.

Os produtos das indústrias do PIM possuem um selo concedido pela SUFRAMA, que apresenta uma garça-branca de asas abertas, com as inscrições “Produzido no Polo Industrial de Manaus” e “Conheça a Amazônia”. Essa identificação foi criada nos anos 1980 com a intenção de divulgar a Zona Franca para o mundo. Hoje, já não representa o apelo ambiental, sustentável e de valorização que a região precisa. Estamos criando produtos industrializados em uma área com intenso apelo ambiental internacional, sem valorizar a sustentabilidade da região. Acreditamos que a Economia Circular pode mudar essa realidade e fazer do Polo Industrial de Manaus uma referência mundial em sustentabilidade em todas as dimensões.

3.2. GERAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS NO PIM

Na região Norte, o Polo Industrial de Manaus (PIM) representa a maior concentração de indústrias, com cerca de 494 empresas (SUFRAMA, 2012), que consomem recursos e, conseqüentemente, geram resíduos destinados a uma mesma área, resultando em grandes volumes e quantidades de resíduos. Apesar de seus mais de 50 anos de funcionamento, ainda se conhece muito pouco sobre os resíduos gerados pelo PIM e seus impactos no ambiente.

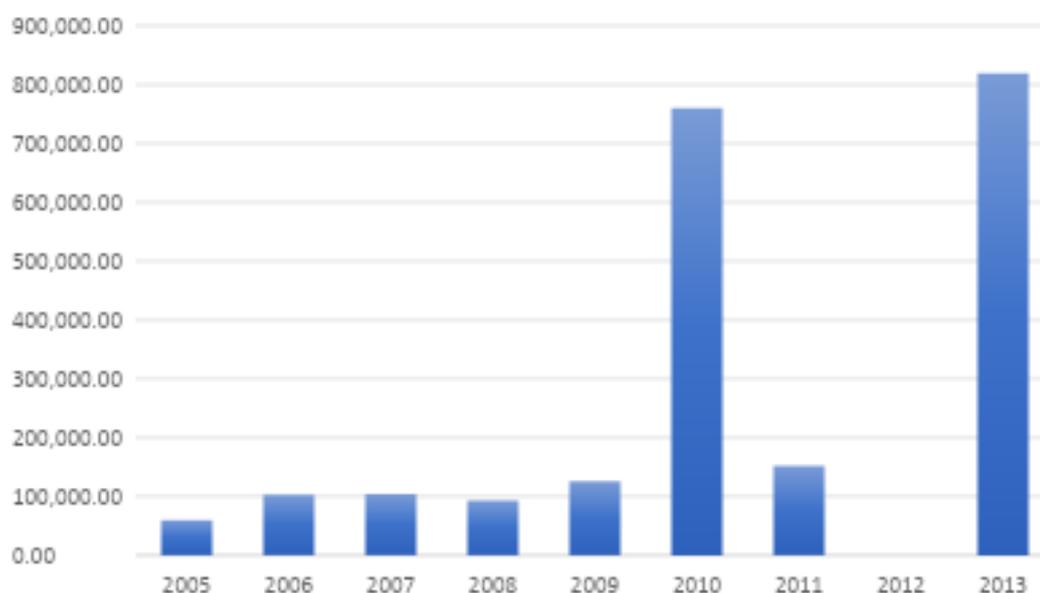
As primeiras pesquisas com o objetivo de desenvolver políticas públicas para a gestão de resíduos industriais em Manaus, voltadas para o PIM, tiveram início em 2009, por meio de um acordo de cooperação firmado entre a Superintendência da Zona Franca de Manaus (SUFRAMA), a Agência Brasileira de Cooperação do Ministério das Relações Exteriores (ABC) e a Agência Japonesa de Cooperação Internacional (JICA), que criou o Grupo de Gerenciamento de Resíduos Industriais (GRI Group). Esse grupo dedicou-se a estudar a gestão dos resíduos industriais produzidos pelo PIM, dando início ao projeto de estruturação do Plano Diretor para a Gestão de Resíduos Industriais do Polo Industrial de Manaus, que continha propostas de soluções para o aproveitamento e a destinação de resíduos do PIM a serem implementadas no período de 2011 a 2015.

Entre os anos de 2010 e 2012, foram elaborados pelo GRI Group estudos para o desenvolvimento de uma solução integrada relativa à gestão de resíduos industriais no PIM, além do primeiro inventário anual de resíduos sólidos industriais do PIM (2012), entre outros documentos complementares, como relatórios, guias e planos de ação (SUFRAMA, 2012).

Apesar dos esforços realizados, os objetivos propostos ainda não foram atingidos, e o Plano Diretor idealizado não avançou em sua implementação.

Os dados apresentados voluntariamente pelas indústrias do PIM à pesquisa da SUFRAMA compõem o principal banco de dados, até hoje utilizado, sobre a estratificação de resíduos do PIM. O Gráfico 10 apresenta os dados publicados pelo GRI Group com base nos inventários de Resíduos Sólidos Industriais (RSI) consolidados, destacando que, para o ano de 2012, não foram encontrados resultados.

Gráfico 10: Geração de resíduos industriais do PIM



Elaboração: Meireles, 2022.

O gráfico acima (em quilos) demonstra uma baixa adesão das indústrias locais em informar sua geração de resíduos aos órgãos competentes. Os anos de 2010 e 2013, que apresentaram maior adesão, foram períodos em que o GRI Group da SUFRAMA acompanhou os inventários e teve contato direto com as indústrias para o fornecimento de dados. As propostas de gestão idealizadas pelo plano diretor para os anos seguintes pouco saíram do papel ou foram insuficientes para trazer soluções de intervenção que mitigassem os possíveis impactos ambientais negativos dos resíduos industriais.

Os dados do Gráfico 3 referem-se aos inventários de 2011; na época, havia 435 empresas cadastradas, e apenas 44 entregaram os inventários de resíduos, o que representa apenas 10%

(SUFRAMA, 2012). No segundo inventário, referente ao ano de 2012, foram consolidados dados de apenas 63 indústrias (SUFRAMA, 2013).

Mesmo com a obrigatoriedade do atendimento à Resolução CONAMA nº 313, de 2002, que dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais¹¹, o Amazonas e Manaus não possuem inventários de Resíduos Sólidos Industriais (RSI) consolidados no órgão de regulação estadual, o IPAAM.

As indústrias do PIM possuem licenciamento ambiental para operação e, como condicionante ao licenciamento, são obrigadas a elaborar um Plano de Gerenciamento de Resíduos (PGR), que deve ser aprovado e acompanhado pelo órgão licenciador. Esse plano deveria ser o primeiro instrumento de controle e fiscalização para traçar um panorama de como o PIM gerencia seus resíduos. No entanto, o órgão ambiental estadual de licenciamento no Amazonas (IPAAM) não possui uma sistematização desses dados.

Como requisito da PNRS, o Estado do Amazonas publicou, em 2017, o Plano Estadual de Resíduos Sólidos (AMAZONAS, 2017a), um documento elaborado com a participação de um comitê consultivo estadual de gestão de resíduos sólidos, envolvendo os principais agentes públicos da gestão de resíduos do Estado, universidades e associações. No plano, pouco se aborda sobre a gestão de RSI, limitando-se a fazer referências ao Plano Diretor de Resíduos Sólidos Industriais do PIM de 2010, cujos dados já estão defasados.

Da mesma forma, a Secretaria Estadual de Meio Ambiente (SEMA) também elaborou o Plano de Resíduos Sólidos e de Coleta Seletiva da Região Metropolitana de Manaus (PERS-AM) (AMAZONAS, 2017b), que, assim como o plano estadual, não considera as interações e influências do PIM na geração de resíduos de Manaus. De maneira superficial e sem dados concisos, a geração de resíduos do PIM é tratada como coadjuvante na geração de resíduos de Manaus. Embora a responsabilidade recaia sobre os geradores (indústrias do PIM), existem interações e impactos que devem ser analisados pelos órgãos ambientais do Estado e do município, os quais não são considerados.

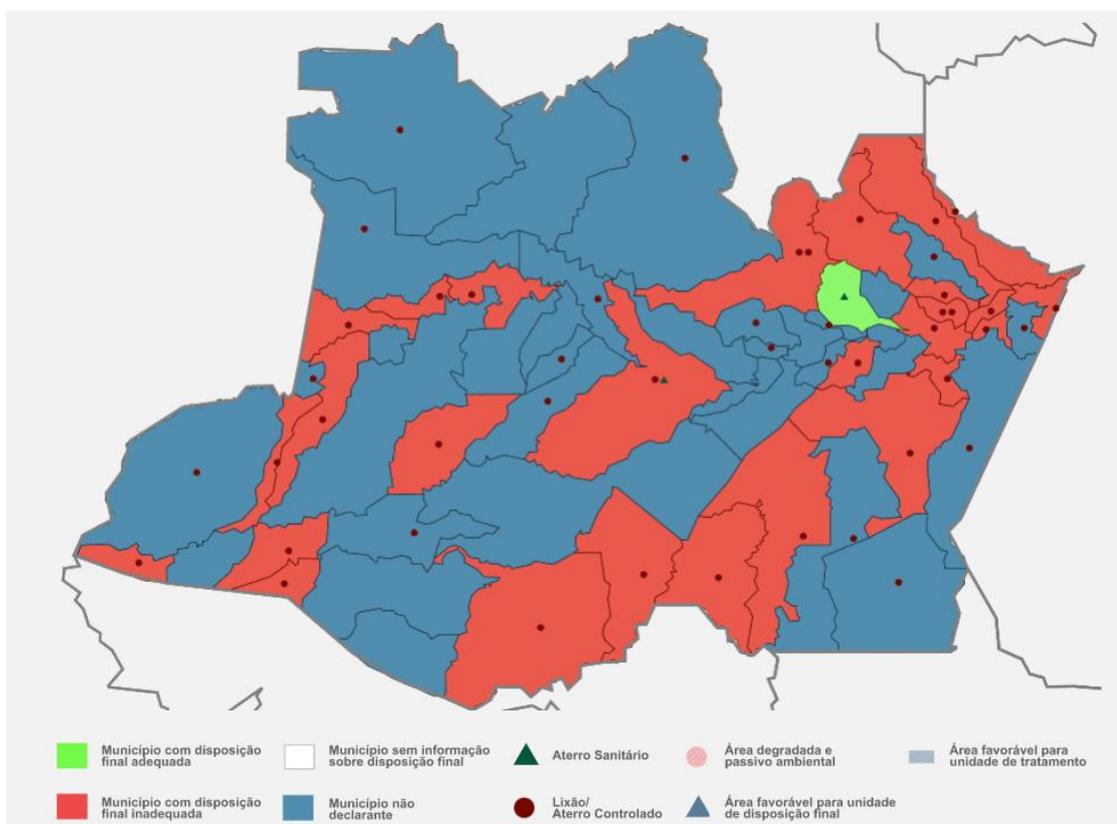
Mesmo com a ampla inserção de questões ambientais nas organizações, muitas vezes influenciadas pelas certificações internacionais, ainda existem muitas dificuldades para realizar

¹¹ Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais é o conjunto de informações sobre a geração, características, armazenamento, transporte, tratamento, reutilização, reciclagem, recuperação e disposição final dos resíduos sólidos gerados pelas indústrias no país.

o gerenciamento ambientalmente adequado conforme a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Manaus ainda não possui infraestrutura para atender plenamente aos requisitos legais de gestão de resíduos; os sistemas de tratamento de resíduos são limitados e a geração de dados sobre os resíduos do PIM também. Apesar de ser um requisito legal, as indústrias do PIM não têm repassado ao órgão ambiental local, IPAAM, os inventários de geração de resíduos industriais. Essa ausência de informações sistematizadas inviabiliza políticas públicas voltadas à gestão de resíduos e à produção de conhecimento científico.

Em nível federal, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) e o Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR) contêm dados sobre a geração de resíduos. O banco de dados nacional do SINIR foi construído a partir de informações emitidas pela elaboração dos Manifestos de Transporte de Resíduos e apresenta as únicas informações oficiais sistematizadas sobre a geração de resíduos. O mapa a seguir foi publicado representando a participação dos 62 municípios do Estado do Amazonas e sua situação de repasse de dados sobre resíduos sólidos. De acordo com o mapa representado na Figura 12, podemos perceber que, dos municípios do Amazonas, apenas Manaus apresenta dados sobre resíduos.

Figura 12: Mapa de distribuição de municípios do Amazonas declarantes no SINIR

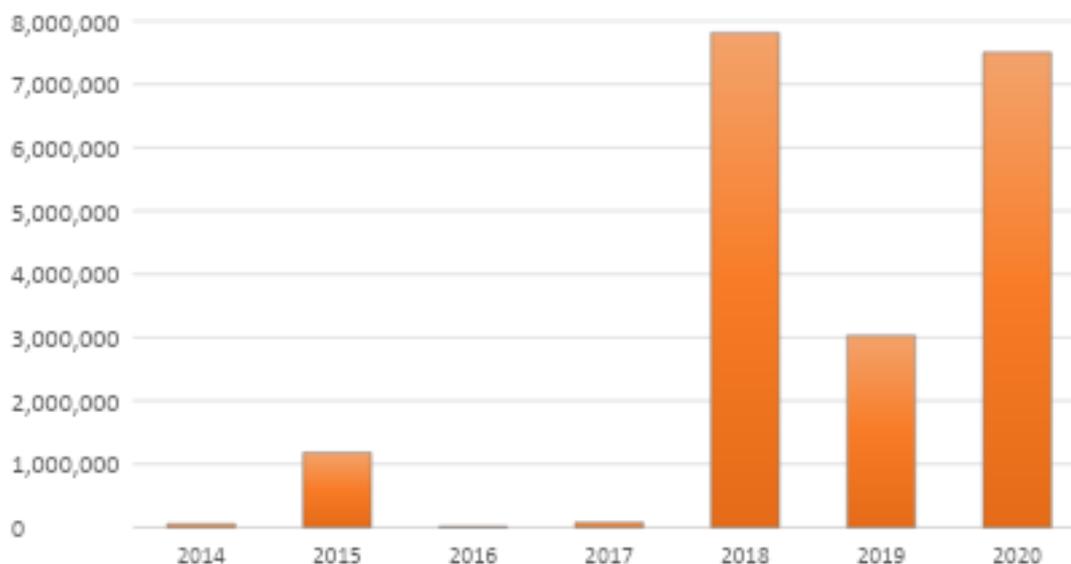


Fonte: SINIR, 2022.

O SINIR começou a publicar, em 2014, informações sobre diversos tipos de resíduos gerados por estados e municípios, incluindo os resíduos industriais. No SINIR, o Amazonas possui relatórios consolidados de 2019 e 2020. Esses relatórios foram compostos, respectivamente, por 3 e 58 municípios, abrangendo cerca de 93,5% do Estado.

Os resíduos (perigosos e não perigosos) informados pelas indústrias do Amazonas no SINIR em 2020 somaram 7.501.413 toneladas, gerados pelas indústrias localizadas em Manaus. O gráfico a seguir apresenta os dados de geração de resíduos industriais de Manaus, área de concentração da maioria das indústrias do PIM. Com base nos relatórios do Amazonas, dos quais apenas Manaus colaborou, quantificamos a geração de resíduos industriais, representada no Gráfico 11.

Gráfico 11: Geração de resíduos industriais em Manaus

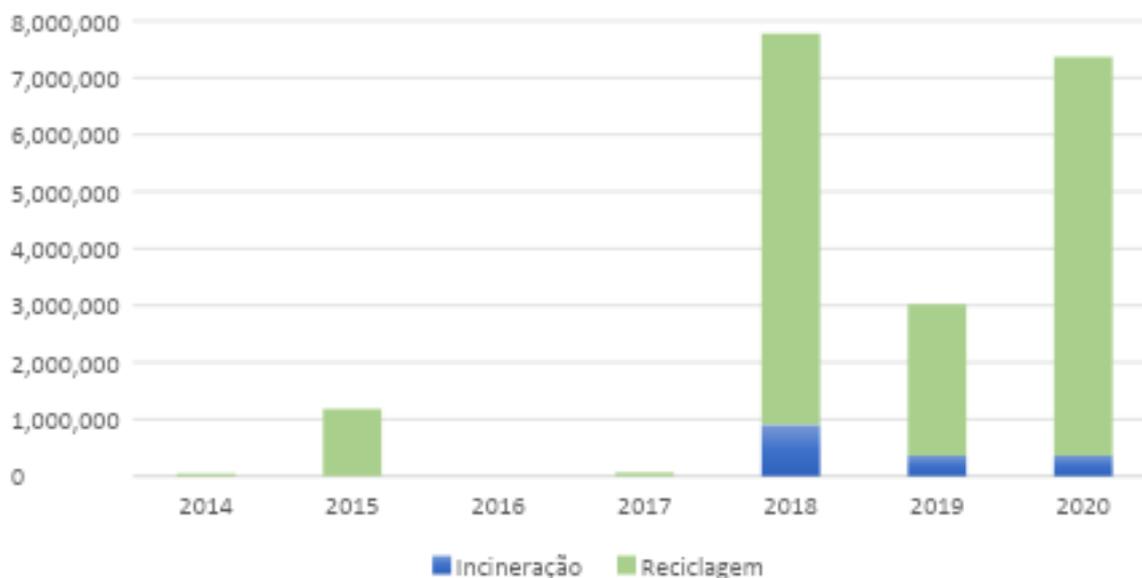


Elaboração: Meireles, 2022.

O Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR) começou a operar em 2019, mas seu uso tornou-se obrigatório em 2020. Os dados de anos anteriores foram importados de outros portais, como o Cadastro Técnico Federal de Atividades Potencialmente Poluidoras e Utilizadoras de Recursos Ambientais (CTF-APP/RAPP) do IBAMA. Os dados mais atuais do Inventário Nacional de Resíduos Sólidos são de 2020.

Apesar de possuírem sistemas de gerenciamento de resíduos sólidos internos, as indústrias localizadas em Manaus enfrentam dificuldades básicas para destinar seus resíduos, devido ao restrito cluster de empresas de tratamento que possuem a infraestrutura necessária, conforme a legislação, para atender ao PIM. No SINIR, os únicos tipos de destinação apresentados pelas empresas do Amazonas foram: tratamentos térmicos sem reaproveitamento energético e reciclagem/reaproveitamento (Gráfico 12). Manaus possui um aterro licenciado como sanitário; no entanto, nenhuma das empresas declarantes indicou a destinação de resíduos para o aterro de Manaus.

Gráfico 12: Tratamento dado aos resíduos industriais classe II em Manaus

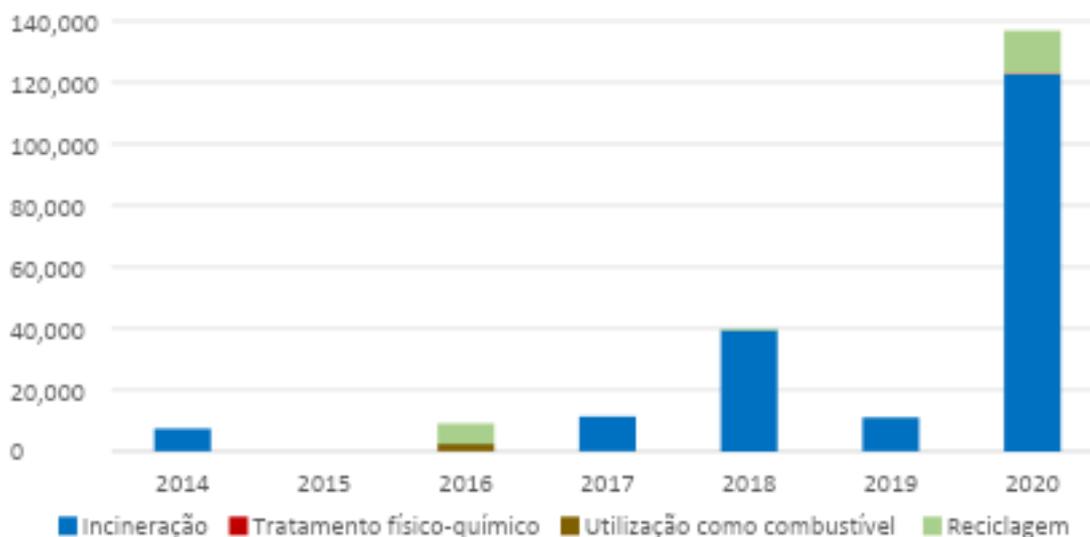


Elaboração: Meireles, 2022.

As informações sobre a geração e o tratamento de resíduos são autodeclaratórias. De acordo com os dados divulgados, as empresas informaram que, entre os resíduos não perigosos (não inertes ou inertes), cerca de 92% são destinados à reciclagem. A partir dessa informação, poderíamos afirmar que os índices de reciclagem de resíduos industriais em Manaus são elevados e que a cidade dispõe e utiliza matéria-prima reciclada em seus processos, ou ainda que essa matéria-prima não é perdida em aterros ou pela queima na incineração. No entanto, esse gráfico representa dados de um universo de menos de 5% das indústrias do PIM, com apenas 44 inventários, conforme mostrado no Gráfico 11.

Em relação aos resíduos perigosos, que em 2020 atingiram o patamar de 136.845 kg (Gráfico 13), podemos destacar que 90% foram destinados à incineração, enquanto os 10% restantes foram direcionados à reciclagem, tratando-se de petróleo rerefinado. Em Manaus, nenhuma das incineradoras possui sistema de recuperação energética; portanto, todo resíduo destinado à incineração representa uma total perda de matéria-prima e energia.

Gráfico 13: Tratamento dado aos resíduos industriais perigosos classe I em Manaus



Fonte: SINIR, 2020.

O Polo Industrial de Manaus (PIM) é um dos maiores geradores de resíduos sólidos industriais da Amazônia. Entretanto, as características da região, principalmente os entraves logísticos, impedem que o PIM integre a rede local de geração de resíduos industriais com operadores ou mercados de aproveitamento de resíduos de outros Estados da Federação. O envio de resíduos para tratamento em outros Estados tornaria o serviço mais oneroso.

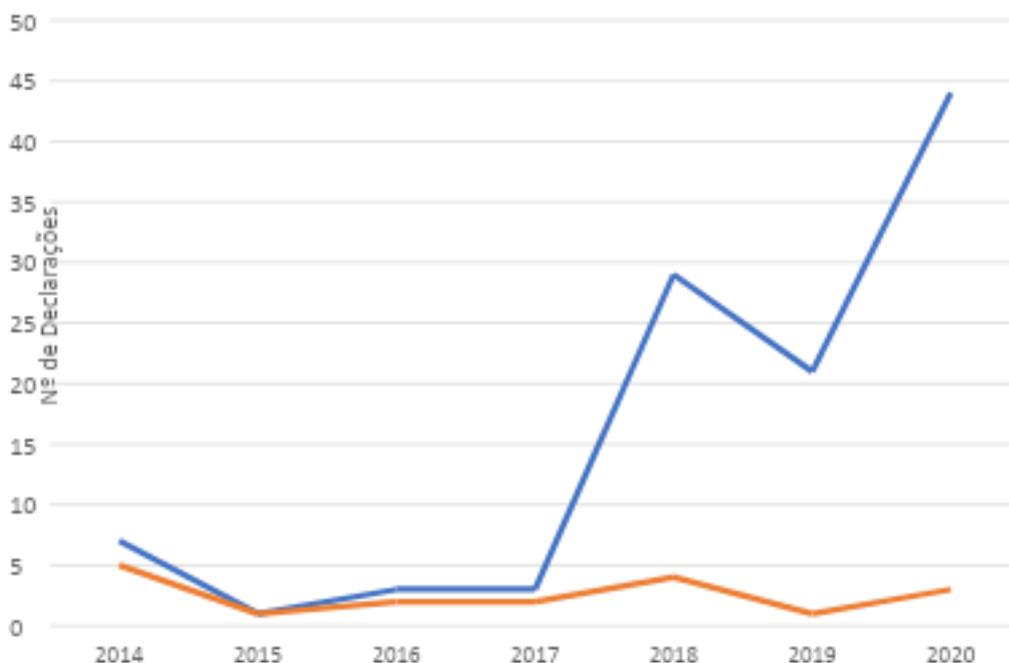
De acordo com o Cadastro Técnico Federal do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (SINIR, 2022), poucas empresas de Manaus têm realizado declarações, e o Gráfico 7 demonstra a adesão das empresas da região ao fornecimento de dados no site do IBAMA.

Em 2018, havia 496 indústrias cadastradas na SUFRAMA, e apenas 29 reportaram dados como geradores de Resíduos Industriais (R.I.). Essa enorme lacuna de dados oculta a realidade do PIM e demonstra claramente que desconhecemos como se dá a gestão de resíduos industriais no maior gerador da Amazônia. Sem conhecer a quantidade de resíduos gerados, é impossível traçar políticas públicas para uma gestão mais eficaz ou identificar oportunidades de negócios que possam ser desenvolvidas por meio da gestão sustentável dos resíduos industriais.

Os resultados obtidos nos sistemas oficiais, que são defasados e pouco representativos, não permitiram um levantamento adequado do cenário de geração de R.I. do PIM, evidenciando

a necessidade de intervenção e cobrança dos órgãos competentes para que todas as indústrias beneficiadas pela SUFRAMA entreguem os inventários anuais de resíduos (Gráfico 14).

Gráfico 14: Autodeclaração das indústrias manauaras com atividades potencialmente poluidoras ao IBAMA



Fonte: SINIR, 2020.

Ainda assim, apesar de a gestão de resíduos sólidos estar embasada em um amplo arcabouço de leis, decretos e normativas específicas para o gerenciamento de Resíduos Sólidos Industriais (RSI), pouco se tem refletido na implementação de práticas que promovam a sustentabilidade no Polo Industrial de Manaus (PIM). Os dados apresentados refletem de maneira parcial a geração de resíduos do PIM, e essa ausência de dados nos órgãos locais foi uma das principais barreiras para o desenvolvimento desta pesquisa.

A falta de dados e informações técnicas também se reflete na ausência de políticas públicas, econômicas e comerciais para a valorização dos resíduos, fazendo com que os resíduos sólidos gerados no PIM ainda se caracterizem como um problema ou uma obrigação. As empresas que tratam seus resíduos o fazem apenas para atender à legislação e investem pouco em pesquisa ou avaliações de melhoria de processos. Existe uma considerável demanda por destinação para reciclagem, mas, sem sistemas prévios de recuperação, as indústrias que

realizam essa prática agem de maneira individualizada, sem incentivos por parte dos atores da gestão de RSI do PIM para essa mudança de perspectiva.

A transformação para uma percepção ambiental voltada para identificar oportunidades econômicas vinculadas aos resíduos sólidos do Polo Industrial de Manaus requer ações coordenadas entre os atores da governança do polo. A reciclagem de resíduos no PIM é defendida e incentivada, mas ações individualizadas não refletem a sustentabilidade do PIM, pois operam em um contexto com uma complexidade de fatores socioeconômicos e ambientais que precisam ser avaliados e projetados em conjunto. Mundialmente, há experiências de sucesso que podem nortear essa transição e serão apresentadas a seguir como fonte para futuros debates sobre a possibilidade de um Polo Eco Industrial de Manaus.

3.3. MODELOS DE ECONOMIA CIRCULAR EM PARQUES INDUSTRIAIS

Os modelos e experiências de sucesso de Economia Circular em processos industriais de grande porte estão ligados à associação de demandas e necessidades dos parques industriais. Manter as condições necessárias de produção em larga escala ao longo do tempo, no contexto do século XXI, requer investimentos na melhoria das condições ambientais das zonas de instalação desses conjuntos de indústrias, promovendo uma mudança de padrão que incorpore as questões ecológicas e ambientais.

Os chamados Ecoparques Industriais são sistemas de produção individualizados que trabalham em sinergia e conjugam interesses em recursos (informação, materiais, água, energia, combustíveis, infraestrutura, tecnologia, entre outros). Por meio da Simbiose Industrial, esses sistemas operam de maneira eficiente e sustentável, atendendo à demanda por matérias-primas e promovendo a circularidade de seus resíduos. De acordo com o Conselho de Desenvolvimento Sustentável do Presidente (PCSD) da Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA), um parque industrial nessas condições de investimento ecológico pode ser definido como:

Um parque eco industrial é uma comunidade de empresas de manufatura e serviços que buscam um melhor desempenho ambiental e econômico por meio da colaboração na gestão de questões ambientais e de recursos, incluindo energia, água e materiais. Trabalhando em conjunto, a comunidade de negócios busca um benefício coletivo maior do que a soma dos benefícios individuais que cada empresa obteria se otimizasse apenas seu desempenho individual (PCSD, 1997).

De maneira objetiva, não há programas, indicadores ou requisitos para participar do Polo Industrial de Manaus (PIM) que considerem controle de impactos ambientais, geração de efluentes industriais, emissões atmosféricas, geração e tratamento de resíduos. Cada empreendimento trabalha individualmente esses aspectos de acordo com seu processo de licenciamento ambiental.

De acordo com Chertow (1998), os Parques Ecoindustriais podem ser classificados em cinco modelos, cada um com objetivos diferentes e que operam em condições de simbiose industrial, embora possuam focos distintos em relação à gestão. A partir do levantamento de parques industriais nos EUA, Europa e Ásia, a autora identificou similaridades entre os modelos de criação ou operação que poderiam servir de referência para o desenvolvimento de novos sistemas industriais que promovam a sustentabilidade econômica dos negócios, resultando em reflexos positivos para a comunidade local e para o meio ambiente.

Modelo 1 - Trocas de resíduos: Os processos de troca e venda de resíduos sólidos são muito difundidos e incentivados devido à valorização econômica dos Resíduos Sólidos Industriais (RSI) e ao fato de alguns resíduos serem classificados como commodities com preços definidos pelo mercado, o que favorece esse modelo.

Esse processo ocorre quando uma indústria gera constantemente resíduos valorizados que podem servir de matéria-prima para outra linha de produção, ou quando um conjunto de indústrias beneficia seus resíduos, transformando-os em matérias-primas a serem oferecidas no mercado. Esse modelo já é praticado individualmente por algumas empresas do PIM. Em Manaus, resíduos como metais, plásticos, papéis e óleos lubrificantes são muito valorizados por recicladoras ou empresas que os utilizam como subprodutos.

No entanto, essa prática não é realizada de forma coordenada pela governança do PIM; as indústrias não são compelidas ou não têm obrigação legal de trocar seus resíduos. A falta de segregação e a baixa qualidade da coleta seletiva nas plantas industriais também tendem a desvalorizar esses resíduos. O incentivo à troca de resíduos pode ser o primeiro passo para a criação de um Parque Eco Industrial (PEI) em Manaus, pois há empresas especializadas em logística, transporte e valorização de resíduos e subprodutos.

Modelo 2 - Ligação entre empresas ou organizações: Esse modelo aplica-se a empreendimentos que possuem várias unidades ou atuam em um sistema intraorganizacional específico, como processos industriais com filiais ou subcontratadas. Nesse contexto, o grupo

pode investir em melhorias ambientais, como o compartilhamento de tecnologias para a redução de emissões atmosféricas e tratamento de efluentes, ou sistemas internos de gestão de eficiência energética e de geração de resíduos. Esse modelo requer que um grupo integrado compartilhe entre si pesquisas, custos de implantação, operação e benefícios ambientais. Não identificamos a ocorrência ou a possibilidade de aplicação desse modelo no PIM, talvez devido à variedade de indústrias de diferentes CNPJs.

Modelo 3 - Parque Eco Industrial (PEI): Nesse modelo, parques industriais legalmente definidos podem compartilhar energia limpa, água, materiais e, além disso, compartilhar informações e serviços, como licenciamento, transporte e marketing. Esse modelo requer um alto investimento em infraestrutura local na área de instalação do parque industrial, bem como governança, sistemas de gestão ambiental, normas e requisitos que possam ser replicados em todas as organizações.

A criação de Parques Ecoindustriais depende principalmente de políticas governamentais locais que ofereçam condições para atrair empresas ou que modifiquem os ambientes já construídos, adequando-os aos requisitos de qualidade ambiental e sustentabilidade.

O PIM não possui a infraestrutura técnica necessária para ser considerado um PEI; por outro lado, o fato de ter uma governança concentrada na SUFRAMA, legislação e requisitos específicos para a adesão das empresas, além de estar localizado em uma região específica da cidade com logística semelhante para todas as empresas, são fatores que podem favorecer a implantação desse modelo. Além disso, o apelo ambiental de se produzir na Amazônia de maneira sustentável pode ser um fator de incentivo ao consumo de produtos do PIM em detrimento de produtos de outras localidades.

Modelo 4 - Empresas co-localizadas: Refere-se a empreendimentos já existentes com proximidade geográfica, ou seja, empresas locais que atuam em um raio de ação determinado. Embora esta área não tenha sido planejada como um parque industrial, a proximidade das empresas permite que elas aproveitem os fluxos de materiais, água, energia e subprodutos.

Empresas geograficamente próximas, com governança individual, podem encontrar, por meio de parcerias entre o governo local e as instituições privadas, interesse em trocar serviços, recursos e subprodutos que beneficiem todos os envolvidos. Exemplos desse modelo já existem desde os anos 1960, com o mais famoso e longevo Parque Eco Industrial de Kalundborg, na

Dinamarca, criado em 1962, que não nasceu de um projeto único, mas cresceu ao longo do tempo com a adesão de novos parceiros.

Para o PIM, esse modelo poderia ser aplicado por segmentos, devido ao elevado número de empresas instaladas e à distribuição em 19 segmentos. A adaptação para um PEI único pode levar bastante tempo, pois necessita da readequação de toda a infraestrutura do polo, além de acordos e normas que exijam a adesão de todos os membros do PIM. Com adesão por interesse, haveria a possibilidade de manter o PIM e criar dentro dele o Polo Eco Industrial de Manaus, com incentivos da SUFRAMA para a adesão de algumas áreas de interesse que pudessem alavancar a proposta de um PIM mais sustentável. Com o desenvolvimento e a evolução do projeto, novas empresas poderiam aderir, aumentando o PEI ou criando novas estruturas paralelas.

Modelo 5 - Empresas organizadas “virtualmente”: No quinto e último modelo, o foco é a parceria entre empresas localizadas a longas distâncias ou em uma região mais ampla. Esse modelo é viável devido à dificuldade de transferir sites industriais para áreas de interesse que já possuam infraestruturas sustentáveis. As ações estão ligadas principalmente ao compartilhamento de equipamentos de uso esporádico, recursos e fornecimento de subprodutos ou efluentes por meio de uma logística de veículos, gasodutos, oleodutos ou outros equipamentos que realizam o transporte de materiais.

Esse modelo é favorável a indústrias localizadas longe dos grandes centros de produção, mas que desejam compartilhar tecnologia, modelos de gestão ou promover a circularidade de seus resíduos. Um exemplo desse modelo são os bancos de resíduos que negociam esses materiais como commodities e os distribuem nacional ou regionalmente.

Não consideramos este modelo favorável ao PIM, pois o polo possui oportunidades de desenvolver localmente alternativas sustentáveis que possam refletir na melhoria do contexto ambiental local. Além disso, há uma quantidade significativa de tecnologia já implantada que pode ser compartilhada internamente, com governança própria e concentração geográfica. Porém, é uma oportunidade para indústrias do interior do Estado do Amazonas aderirem futuramente ao Polo Eco Industrial de Manaus.

A aplicação de sistemas de Simbiose Industrial ou Parques Ecoindustriais deve sempre considerar o contexto do local de implantação, as potencialidades da produção industrial da

região, os interesses comerciais, socioeconômicos, políticas de desenvolvimento e outros fatores.

Os modelos apontados acima representam padrões encontrados entre os principais parques investigados; no entanto, nem sempre o que funciona para uma região apresentará a mesma eficiência em outra. A Tabela 4 apresenta uma lista de Parques Ecoindustriais de sucesso no mundo que operam em atividades específicas e compartilham benefícios. Parques com operações semelhantes possuem recursos compartilhados distintos, de acordo com as perspectivas e necessidades de cada grupo, demonstrando a diversidade de acordos que podem ser estabelecidos entre um conjunto de indústrias com interesses em comum.

Tabela 4: Principais Parques Ecoindustriais Mundiais

PAÍS		PARQUE	PRINCIPAIS OPERAÇÕES	RECURSOS/SERVIÇOS COMPARTILHADOS
1	Dinamarca	Kalundborg	Refinaria de petróleo, usina elétrica, fábrica de gesso, farmacêutica e governo local	Água subterrânea, de superfície e residual; vapor; eletricidade; e subprodutos
2	China	Rizhao Economic and Technology Development Area (REDA)	Óleo de cereais e alimentos, máquinas, papel e celulose, têxtil e vestuário, refino de vinho e indústrias bioquímicas	Fluxo de subprodutos, tratamento de lodo de celulose, sucatas metálicas, tecidos, energia, água doce
3		Beijing Economic Technological Development Area	Tecnologia da informação, veículo inteligente de nova energia, biotecnologia e saúde, robótica e manufatura inteligente	Ferrovias, estradas, aeroportos, investimento em logística, qualidade de vida, profissionais qualificados, produção limpa
4		Baotou National Ecological Industrial Demonstration Park (BNEIDP)	Indústria de alumínio	Instalações de serviços, como escolas, hospitais, hotéis e organizações comerciais e financeiras'
5		Dafeng	Indústria de silício cristalino fotovoltaico, veículos de energia renovável, equipamentos de energia eólica e internet de veículos	Energia eólica e solar, edifícios carbono zero, centros de P&D
6		Guitang Group	Refinarias de açúcar, fábrica de papel e fábrica de álcool, fábrica de cimento	Reuso de subprodutos: álcool, fibras, lodo e efluente contaminado

7		Shanghai Chemical Industry Park (SCIP)	Indústria petroquímica e química fina	Recurso energético é o gás natural
8		Suzhou Industrial Park (SIP)	Informação eletrônica, eletrônica de máquinas de precisão, informática, software, químico, farmacêutico e de saúde	Ferrovias, estradas, aeroportos, portos exclusivos, aterros sanitários, tratamento de esgoto
9	Taiwan	Lin-Hai	Siderúrgicas, complexo petroquímico, usina de energia a carvão, fábricas de alumínio, produção industrial de gás	Materiais residuais, eletricidade, água e tratamento de águas e resíduos
10		Lin-Yuan	Petróleo bruto e produtos químicos	Gás, óleo, água quente, vapor
11		Tao Zhu Yin Yuan	Prédio comercial	130 toneladas de dióxido de carbono anualmente
12	Portugal	Eco Parque do Relvão	Empresas de reciclagem de: plásticos, biomassa, triagem de medicamentos, material ferroso e não ferroso, de betão e materiais provenientes de demolições, produção de biodiesel a partir de óleos usados	Tratamento de resíduos
13		Eco Parque de Estarreja	Industriais, Comerciais, Armazenagem e Serviços	Rede viária de água potável e bruta, saneamento, águas pluviais, iluminação pública, rede de gás e telecomunicações, estacionamento público, passeios, corredor de bombeiros, espaços verdes
14	Noruega	Daedok Technovalley (DTV)	Governo local, desenvolvedores privados, indústria de veículos	Habitação, tecnologia, pesquisa, distribuição logística, equipamentos de recreação, educação e cultura
15	Áustria	Iz Nö-Süd	Alimentos e bebidas, alumínio e aço, energia e componentes técnicos, serviços e tecnologias ambientais, e logística	Redes de negócios, infraestrutura, central de tratamento de águas residuais, e linhas de ônibus e conexões ferroviárias
16		Ecopark Hartberg	Parque comercial criado exclusivamente para empresas do setor do ambiente	Reciclagem de papel e plástico, energia e sistemas de aquecimento com ênfase sobre biomassa, tecnologia solar, planejamento ambiental e marketing,
17	Singapura	Jurong Island	Ilha verde que investe no <i>hub</i> de energia e produtos químicos	Captura de carbono e conforto térmico
18	Coreia	Yeosu National Industrial Complex	Petroquímica - produção de etileno, e fertilizantes	Infraestrutura logística de portos, subsídios e disposição de terrenos

19	Alemanha	ValuePark Schkopau	Indústria de produtos químicos e plásticos,	Infraestrutura logística, consumo de produtos locais, circularidade de resíduos
20	Itália	Porto Marghera	Indústria química	Otimização do consumo de energia e materiais, a minimização da geração de resíduos e a troca de subprodutos
21	Coreia do Sul	Ulsan Mipo	Fabricação de veículos, construção naval, refinarias de petróleo, máquinas, não-ferrosos	Redução do consumo de energia, bem como redução na geração de resíduos ou subprodutos, efluentes e emissões de CO2

Elaboração: Vanessa Meireles, (2022).

O Parque de Kalundborg, na Dinamarca, é uma referência mundial em processos de simbiose industrial e Economia Circular, proporcionando retornos socioambientais e econômicos significativos para os empreendimentos que fazem parte do conglomerado, para a população da cidade e para o governo. Os modelos de simbiose industrial encontrados nos Parques Ecoindustriais apresentados na Tabela 4 demonstram a variedade de interações que podem ocorrer entre organizações e destacam a participação dos governos locais no desenvolvimento desses espaços. Essa interação pode ocorrer em um ramo de atividade ou em um conjunto de processos diferentes; da mesma forma, pode ser especializada em um único serviço ou concentrar apenas a infraestrutura necessária para as indústrias instaladas no local, desde que haja benefícios socioeconômicos e ambientais compartilhados.

A gestão dos parques mencionados é realizada de diferentes maneiras: por empresas privadas que desenvolvem a infraestrutura e vendem a área de instalação para outras empresas; por meio da cooperação entre diversas indústrias para o desenvolvimento ou remodelação da infraestrutura necessária; ou pelo poder público e governo local para atrair novas indústrias. Um exemplo interessante que pode inspirar mudanças no PIM é o complexo de Ulsan Mipo, na Coreia do Sul, liderado por um conselho consultivo composto por representantes do governo local, da academia e da indústria. Esse conselho também fornece assistência para o desenvolvimento de novos projetos, ações de acompanhamento da implantação de projetos e auditorias relacionadas às operações (UNIDO, 2017).

Os Parques Ecoindustriais chineses são referências mundiais devido à grande quantidade de plantas espalhadas pelo país e ao investimento do governo chinês na infraestrutura para a criação e evolução desses parques. O país possui diversas legislações para a implantação de PEIs e de Economia Circular (HONG; GASPARATOS, 2020), demonstrando

que os processos de simbiose industrial podem ser desenvolvidos em diferentes setores ou conjugados em um único segmento. Yu et al. (2015) realizaram uma avaliação dos parques BNEIDP, SCIP e SIP, todos localizados na China, e afirmam que os indicadores socioeconômicos dos PEIs têm efeitos positivos sobre a proteção ambiental, principalmente em indústrias de alta tecnologia, que tendem a alcançar melhor desempenho no tratamento de efluentes e resíduos sólidos. Essas melhorias também se refletem na eficiência de recursos e materiais, assim como na redução dos custos dos serviços de energia fornecidos às populações vizinhas aos parques.

As vantagens da implantação de sistemas de simbiose industrial ou da adaptação de plantas de produção industrial para projetos sustentáveis são comprovadas e demonstram retornos de valor de mercado que superam as vantagens socioeconômicas e ambientais, envolvendo também marketing positivo para todos os envolvidos, atração de investimentos, construções verdes, aumento da valorização dos imóveis, novas redes de negócios, diminuição de estoques e necessidade de espaço, entre outros (COHEN-ROSENTHAL; SMITH, 2003).

Este debate sobre a operação do PIM e a geração de resíduos, aliado à existência de modelos mais sustentáveis de produção industrial, nos possibilita identificar um alto potencial para uma transição do modelo de produção linear para uma produção circular, com a transformação de sua estrutura em um Parque Eco Industrial. O Polo Industrial de Manaus já possui uma estrutura básica de gestão feita pela SUFRAMA, que, se aprimorada com requisitos de sustentabilidade, estabelecerá o início dessa transição. Descrevemos, a seguir, um fluxo de ações que podem auxiliar o processo de transição:

1. Aprovação da lei brasileira em tramitação sobre a Política Nacional de Economia Circular – com um plano de desenvolvimento nacional e recursos para projetos de implantação de sistemas circulares, com desdobramentos estaduais.
2. Promover parcerias entre a SUFRAMA, o Governo do Amazonas, a Prefeitura de Manaus, centros de pesquisa, órgãos ambientais, universidades, indústrias, cooperativas e outros *stakeholders* para desenvolver um plano de transição para a criação de um Pólo Eco Industrial em Manaus.
3. Buscar investimentos nacionais ou internacionais para financiar o processo de transição e a criação de infraestrutura no PIM.

4. Inserir requisitos de sustentabilidade e exigir a certificação ISO 14001 para as empresas participantes do PIM – deve ser elaborado um cronograma de transição com apoio da SUFRAMA e investimento do governo federal e estadual para auxiliar as empresas.
5. Elaborar um diagnóstico das empresas do PIM com um inventário de resíduos para identificar as potencialidades de cada setor em relação à circularidade de seus resíduos e simbiose.
6. Criar um centro de beneficiamento de resíduos para a valorização dos resíduos industriais do PIM para venda.
7. Investir e atrair novas tecnologias para empresas de tratamento de resíduos.
8. Fortalecer a marca/selo de produtos produzidos na Amazônia.
9. Promover treinamento e formação com as empresas do PIM, exigindo a declaração de toda a transição de resíduos no SINIR.
10. Intensificar a fiscalização ambiental no PIM.

CONCLUSÃO

O Polo Industrial de Manaus (PIM) enfrenta diversos desafios para manter a produção industrial e conciliar seu crescimento com a sustentabilidade da Amazônia. Um desses desafios é a destinação de toneladas de resíduos sólidos industriais, que atualmente causam impactos ambientais diretos ou indiretos à cidade de Manaus e à região amazônica.

Sob uma perspectiva econômica, social e ambiental, o modelo de gerenciamento de Resíduos Sólidos Industriais (RSI) atualmente aplicado no PIM é linear, com baixa recuperação, sem valorização da matéria-prima e dos resíduos, e com foco apenas na destinação final — o que, hoje, é uma obrigação legal. Esse modelo já não traduz as expectativas necessárias para considerarmos o PIM como um organismo sustentável.

O PIM possui insegurança econômica, pois o que mantém as indústrias aqui instaladas são os benefícios fiscais exclusivos para a região. Uma vez que esses benefícios podem ser oferecidos por outros Estados, com melhores condições logísticas e mais próximos dos grandes mercados consumidores, investir na modernização dos processos em Manaus pode ser uma barreira para as grandes indústrias, principalmente se o investimento for exclusivamente da parte privada.

No contexto social, apesar dos empregos diretos e indiretos gerados pela operação do PIM, a cidade não reflete, em suas condições sociais, o 6º maior PIB do país. Os bairros Distrito Industrial I e II, onde a maioria das indústrias está instalada, sofrem com problemas básicos de infraestrutura: ruas danificadas, transporte público precário, insegurança, falta de saneamento básico, ocupação irregular de terras, entre outros. Reconhecemos a importância econômica do PIM para a cidade de Manaus, mas é necessário que essa importância se reflita também no contexto social, o que tornaria o PIM um instrumento de sustentabilidade.

Na tríade da análise, as questões ambientais podem ter um apelo ainda mais significativo. A relação entre a operação do PIM e a proteção da floresta amazônica, o maior bioma brasileiro e uma zona de interesse internacional para a regulação do clima, confere à área de implantação do PIM características únicas, que pouco têm sido valorizadas. Uma visão superficial do que é sustentabilidade tem sido explorada na manutenção do polo, o que invisibiliza os verdadeiros riscos e impactos ambientais da operação de um parque industrial.

Os resíduos sólidos industriais atualmente se apresentam como um risco ambiental nessa relação, pouco explorado e negligenciado pelos atores envolvidos na gestão do PIM, apesar de

conhecermos o potencial de poluição e degradação ambiental causado pela destinação inadequada. Os resíduos sólidos são inerentes a qualquer produção industrial e representam um risco à manutenção da qualidade ambiental da região geradora. Desconhecer esse risco nos coloca em uma posição de vulnerabilidade que não condiz com os padrões de sustentabilidade.

Podemos abordar os resíduos industriais sob três perspectivas possíveis: problema, obrigação ou oportunidade. No contexto encontrado no PIM, percebemos que, atualmente, os resíduos são tratados como uma obrigação; as indústrias realizam o tratamento necessário para atender à legislação ambiental e evitar sanções. Contudo, esse cenário pode ser transformado pela implantação de projetos de Economia Circular que promovam oportunidades de negócios sustentáveis a partir dos resíduos.

Demonstramos que a metodologia da Economia Circular já está sendo trabalhada na academia, por meio de produção científica, em políticas de desenvolvimento por governos ao redor do mundo e em iniciativas privadas, sendo uma estratégia de sustentabilidade com ganhos econômicos, sociais e ambientais reais. A Economia Circular é um mecanismo dinâmico capaz de incorporar as condições socioambientais de uma determinada região, potencializando os resultados econômicos dos processos industriais e, concomitantemente, promovendo a valorização ambiental de um produto.

Qual a diferença entre produzir um aparelho eletrônico na Amazônia ou produzir o mesmo aparelho em outra grande metrópole do Brasil ou do mundo? Para essa pergunta, não encontramos uma resposta, tampouco uma justificativa que valorize e confira um caráter singular aos produtos do PIM, apesar dos diversos benefícios da operação do polo apontados ao longo desta tese. O que nos resta pensar é que, em nenhum momento, as externalidades ambientais dessa operação são contabilizadas nos preços dos produtos ou no marketing de divulgação dos mesmos.

A aplicação de metodologias de Economia Circular pode ser utilizada em diversas frentes: pesquisas por novas matérias-primas, métodos de produção mais limpa e sistemas de gestão que superem o atual sistema linear e incorporem a circularidade nos processos industriais. Essa abordagem propõe um novo tipo de relação com nossos bens e materiais, em resposta às iminentes crises econômicas, sociais e, principalmente, ambientais que a humanidade vem enfrentando. Ela permite economizar recursos e energia, gerar novos tipos de negócios e empregos locais, e promover a regeneração dos sistemas naturais, fomentando a sustentabilidade.

A produção industrial é a base do desenvolvimento econômico do Amazonas e desempenha um papel importante na proteção da floresta amazônica brasileira. Precisamos desenvolver estratégias que fortaleçam a continuidade das isenções fiscais que financiam a operação do PIM e associam a sustentabilidade a esse debate. O Polo Industrial de Manaus, no contexto atual, não é sustentável, mas pode se tornar sustentável com pesquisa, desenvolvimento de tecnologia e investimentos na transição para um Parque Eco Industrial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMAZONAS. **Lei nº 3.785**, de 23 de dezembro de 2012. Estabelece taxas de licenciamento ambiental no âmbito do Estado do Amazonas. Diário Oficial do Estado do Amazonas, Manaus, 2012.

AMAZONAS. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. **Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Amazonas - PERS-AM**. Manaus, 2017a.

AMAZONAS. Secretaria de Estado do Meio Ambiente. **Plano de Resíduos Sólidos e de Coleta Seletiva da Região Metropolitana de Manaus - PERS-AM**. Manaus, 2017b.

ANDRADE, João Bosco Ladislau de. **Indicadores de sustentabilidade aplicáveis à gestão e políticas públicas para resíduos sólidos industriais: uma contribuição com foco no polo industrial de Manaus**. Manaus: EDUA, 2014.

ANDERSEN, M. S. Uma nota introdutória sobre a economia ambiental da economia circular. **Sustainability Science**, v. 2, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11625-006-0013-6>. Acesso em: 23 de maio de 2020.

ARGENTINA. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. **Ley de marco de Economía Circular - Ley nº 6.468/2021**. Buenos Aires, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: resíduos sólidos - classificação. 2. ed. Rio de Janeiro, 2004a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10005**: procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos. 2. ed. Rio de Janeiro, 2004b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14040**: princípios e estrutura de uma avaliação de ciclo de vida (ACV). 2. ed. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14001**: sistemas de gestão ambiental - requisitos com orientações para uso. 3. ed. Rio de Janeiro, 2015.

BARROS, Regina Mambeli. **Tratamento de resíduos sólidos: gestão, uso e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Interciência, 2013.

BENYUS, J. M. **Biomimicry: innovation inspired by nature**. New York: Harper Perennial, 2002.

BIWEI, S. et al. Uma revisão da economia circular na China: passando da retórica para a implementação. **Journal of Cleaner Production**, v. 42, 2013. Disponível em: [Journal of Cleaner Production | ScienceDirect.com by Elsevier](https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-cleaner-production). Acesso em: 12 de setembro de 2022.

BLEISCHWITZ, R. et al. Circular economy in China: achievements, challenges and potential implications for decarbonization. **Resources, Conservation and Recycling**, China, 2022.

Disponível em: [Resources, Conservation and Recycling | Journal | ScienceDirect.com by Elsevier](#). Acesso em: 18 de março de 2023.

BOFF, L. **Sustentabilidade: o que é - o que não é**. Petrópolis: Vozes, 2012.

BORGES, J.; PINTO, W. C. **Resíduos de serviços de saúde: uma questão sistêmica, educacional e cultural**. Manaus: Universidade Federal do Amazonas, 2010.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Presidência da República, 1988.

BRASIL. **Lei nº 6.938**, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 1981.

BRASIL. **Lei nº 9.605**, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 1998.

BRASIL. **Lei nº 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos - Planares**. Brasília, DF: MMA, 2022. Disponível em: portal-api.sinir.gov.br/wp-content/uploads/2022/07/Planares-B.pdf. Acesso em: 18 de abril de 2022.

BRAUNGART, M.; MCDONOUGH, W.; BOLLINGER, A. Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions – a strategy for eco-effective product and system design. **Journal of Cleaner Production**, 2007. Disponível em: [Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions – a strategy for eco-effective product and system design - ScienceDirect](#). Acesso em: 08 de agosto de 2022.

BULOW, J. An economic theory of planned obsolescence. **The Quarterly Journal of Economics**, v. 101, n. 4, p. 729-749, 1986. Disponível em: [Economic Theory of Planned Obsolescence | The Quarterly Journal of Economics | Oxford Academic](#). Acesso em: 08 de agosto de 2022.

CAPRA, F. **A teia da vida: uma nova compreensão científica dos sistemas vivos**. São Paulo: Cultrix, 2006.

CHERTOW, M. R. Industrial symbiosis: a multi-firm approach to sustainability. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON GREENING INDUSTRIAL NETWORK, 8., 1998, Chapel Hill. **Proceedings...** Chapel Hill: [s.n.], 1998. Disponível em: [“Uncovering” Industrial Symbiosis - Chertow - 2007 - Journal of Industrial Ecology - Wiley Online Library](#) Acesso em: 20 mar. 2020.

CHILKOWSKI, C.; SHUKLA, M.; CHOUDHARY, S. Quantificando a circularidade dos resíduos industriais regionais em empresas multicanais. **Annals of Operations Research**, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10479-019-03168-4>. Acesso em: 05 dez 2020.

CIRAIG. **Centro de Referência Internacional para Avaliação do Ciclo de Vida e Transição Sustentável**. 2022. Disponível em: <https://ciraig.org>. Acesso em: 15 jan. 2022.

COHEN-ROSENTHAL, E.; SMITH, M. Real estate and eco-industrial development: the creation of value. In: _____. **Eco-industrial strategies: unleashing synergy between economic development and the environment**. Cornell: Greenleaf Publishing, 2003.

COMISSÃO EUROPEIA. **Closing the loop - um plano de ação da UE para a economia circular**. Bruxelas, 2015. Disponível em: [Novo Plano de Ação da União Europeia para a Economia Circular](#) Acesso em: 19 mai. 2022.

COMISSÃO EUROPEIA. **Guia para eficiência de recursos em manufatura: experiências de melhoria da eficiência de recursos em empresas de manufatura**. Luxemburgo: Europa INOVA, 2012. Disponível em: [A eficiência na utilização dos recursos e os resíduos — Agência Europeia do Ambiente](#) Acesso em: 07 ago 2020.

COMISSÃO EUROPEIA. **Decisão 2000/532/CE**: lista de resíduos em conformidade com a alínea a) do artigo 1º da Diretiva 75/442/CEE do Conselho relativa aos resíduos. *Jornal Oficial das Comunidades Europeias*, L 226, 6.9.2000. Disponível em: <http://data.europa.eu/eli/dec/2000/532/oj>. Acesso em: 15 maio 2022.

COMISSÃO EUROPEIA. **Rumo a uma economia circular: um programa de desperdício zero para a Europa**. Bruxelas, 2014. Disponível em: http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/index_en.htm. Acesso em: 5 fev. 2022.

CONAMA (Brasil). **Resolução nº 237**, de 19 de dezembro de 1997. Revisão dos procedimentos e critérios utilizados no licenciamento ambiental. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 22 dez. 1997. Disponível em: <file://G:\cniac\conam3\97\237-97.htm> Acesso em: 18 de abril de 2022.

CONAMA (Brasil). **Resolução nº 313**, de 29 de outubro de 2002. Dispõe sobre o inventário nacional de resíduos sólidos industriais. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 30 out. 2002. Disponível em: [Resolução CONAMA nº 313, de 29 de outubro de 2002](#). Acesso em: 19 abr de 2022.

CONSELHO DO PRESIDENTE PARA DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (EUA). **Eco-Industrial Park Workshop Proceedings**, 17-18 out. 1996. Cape Charles: [s.n.], 1997.

CUNHA, Paulo Roberto Ferreira da. **American way of life: representação e consumo de um estilo de vida modelar no cinema norte-americano dos anos 1950**. 2017. Tese (Doutorado em Comunicação e Práticas de Consumo) - Escola Superior de Propaganda e Marketing, São Paulo, 2017. Disponível em: https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=5637746 Acesso em: 28 mai. 2022.

DALY, H. E. **Beyond growth: the economics of sustainable development**. Boston: Beacon Press, 1996. Disponível em: [Daly, H.E. \(1996\) Beyond Growth, The Economics of Sustainable Development. Beacon Press, Boston. - References - Scientific Research Publishing](#). Acesso em: 15 maio 2022.

HART, A. Economia circular: fechamento do ciclo do catalisador com recuperação de metais de catalisadores usados, resíduos industriais, resíduos de cascas e ossos de animais. **Biomass Conversion and Biorefinery**, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01942-8>. Acesso em: 12 nov 2022.

HONG, H.; GASPARATOS, A. Eco-industrial parks in China: Key institutional aspects, sustainability impacts, and implementation challenges. **Journal of Cleaner Production**, v. 274, 2020. Disponível em: [Eco-industrial parks in China: Key institutional aspects, sustainability impacts, and implementation challenges - ScienceDirect](#). Acesso em: 12 nov 2022.

IBAM. **Plano diretor de resíduos sólidos de Manaus**. Manaus: Instituto Brasileiro de Administração Municipal, 2010.

KIPPER, Eduardo. **Tratamento enzimático e produção de biogás por resíduos sólidos de curtume**. 2013. [Trabalho acadêmico]. Disponível em: [Tratamento enzimático e produção de biogás por resíduos sólidos de curtume](#). Acesso em: 20 jun. 2021.

KIRCHHERR, J.; REIKE, D.; HEKKERT, M. Conceituando a economia circular: uma análise de 114 definições. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 127, p. 221-232, 2017. Disponível em: [Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions - ScienceDirect](#) Acesso em: 17 maio 2020.

KORHONEN, J. et al. Circular economy: the concept and its limitations. **Ecological Economics**, v. 143, p. 37-46, 2018. Disponível em: [Circular Economy: The Concept and its Limitations - ScienceDirect](#) Acesso em: 17 maio 2020.

LEFF, E. **A complexidade ambiental**. São Paulo: Cortez, 2003.

LEFF, E. **Saber ambiental: sustentabilidade, racionalidade, complexidade, poder**. Petrópolis: Vozes, 2001.

LEITÃO, A. Circular economy: a new management philosophy for the XXI century. **Portuguese Journal of Finance, Management and Accounting**, v. 1, n. 2, 2015. Disponível em: [Circular economy: a new management philosophy for the XXIst century - Ciência-UCP | Universidade Católica Portuguesa](#) Acesso em: 5 fev. 2022

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

LIMA, E. C.; OLIVEIRA NETO, C. R. Revolução Industrial: considerações sobre o pioneirismo industrial inglês. **Revista Espaço Acadêmico**, 2017. Disponível em: <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/EspacoAcademico/article/view/32912>. Acesso em: 9 mar. 2020.

LONDON, B. **Ending the depression through planned obsolescence**. New York: [s.n.], 1932. Disponível em: [Ending the depression through planned obsolescence by Bernard London | Project Gutenberg](#) Acesso em: 20 jun. 2021.

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: EPU, 1986.

MACARTHUR, E. **Towards the circular economy**. v. 1. Cowes: Ellen MacArthur Foundation, 2012. Disponível em: [ellen-macarthur-foundation-towards-the-circular-economy-vol1.pdf](#) Acesso em: 16 jun. 2021.

MACARTHUR, E. **Towards the circular economy**. v. 2. Cowes: Ellen MacArthur Foundation, 2013. Disponível em: [Towards the circular economy Vol. 2: opportunities for the consumer goods sector](#). Acesso em: 16 jun. 2021.

MACARTHUR, E. **Towards the circular economy: accelerating the scale-up across global supply chains**. Geneva: WEF, 2014. Disponível em: [Towards the circular economy Vol. 3: accelerating the scale-up across global supply chains](#). Acesso em: 16 jun. 2021.

MACARTHUR, E. **Case studies**. 2015. Disponível em: http://www.ellenmacarthurfoundation.org/case_studies. Acesso em: 12 out. 2021.

MAIMON, D. **Passaporte verde: gestão ambiental e competitividade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1996.

MCDONOUGH, W.; BRAUNGART, M. **Cradle to cradle: remaking the way we make things**. New York: North Point Press, 2002.

MMA. **Instrução Normativa nº 13**, de 18 de dezembro de 2012. Lista Brasileira de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 19 dez. 2012.

MMA. **Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos - SINIR**. 2022. Disponível em: <https://sinir.gov.br>. Acesso em: 20 ago. 2022.

MOTA, A. R. S. Instrumentos legais e políticas públicas para gestão de resíduos sólidos no Brasil. **Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana**, 2016. Disponível em: [SciELO Brasil - Implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos Implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos](#). Acesso em: 12 nov 2022.

OLIVEIRA, O. B.; EZEUDU, T. S. Implementação de princípios de economia circular na gestão de resíduos sólidos industriais: estudos de caso de uma economia em desenvolvimento (Nigéria). **Recycling**, v. 4, n. 4, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/recycling4040042>. Acesso em: 15 jun. 2021

OMAR, H.; EL-HAGGAR, S. Sustainable industrial community. **Journal of Environmental Protection**, v. 8, p. 301-318, 2017. Disponível em: [Sustainable Industrial Community](#). Acesso em: 27 out. 2021

PADOVANI, W. F. et al. Os desafios da era do lixo. **Veja**, edição especial, abr. 2011. Disponível em: Acesso em: [Os desafios da era do lixo – CIDES](#). Acesso em: 27 out. 2021.

PATNAIK, R. P. G. Developing an eco-industrial park in Puducherry region, India - A SWOT analysis. **Journal of Environmental Planning and Management**, v. 58, n. 5, p. 776-785, 2015. Disponível em: [\(PDF\) Developing an Eco-industrial park in Puducherry region, India - a SWOT analysis](#). Acesso em: 12 out. 2021.

PEARCE, D. W.; TURNER, R. K. **Economics of natural resources and the environment**. London: Harvester Wheatsheaf, 1989. Disponível em: [\(PDF\) Economics of natural resources and the environment / D.W. Pearce, R.K. Turner](#). Acesso em: 20 jun. 2021

PNUMA. **Economia verde: documento informativo: comércio**. 2012. Disponível em: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/9158>. Acesso em: 8 mar. 2021.

PNUMA. **Rumo a uma economia verde: caminhos para o desenvolvimento sustentável e a erradicação da pobreza**. 2011. Disponível em: <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/9158>. Acesso em: 8 mar. 2021.

RIBEIRO, D. V.; MORELLI, M. R. **Resíduos sólidos: problemas ou oportunidades**. Rio de Janeiro: Interciência, 2009.

RIVAS, A. A. F. et al. **Instrumentos econômicos para a proteção da Amazônia: a experiência do Polo Industrial de Manaus**. Curitiba: CRV, 2009.

RIVAS, A. **Economia e valoração de serviços ambientais utilizando técnicas de preferência declarada**. Manaus: EDUA, 2014.

ROSSI, A. La garantía de dar información con relación al ambiente y la obligación del poder público de producirlas. In: CONGRESSO ON-LINE DEL OBSERVATORIO PARA LAS CIBERSOCIEDAD, 3., 2006, Barcelona. **Anais...** Barcelona: [s.n.], 2006. Disponível em: [3º Congresso On-Line do Observatório para a Cibersociedade](#). Acesso em: 20 jun. 2021

SACHS, I. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: Garamond, 2006.

SANTOS, M. **Por uma outra globalização: do pensamento único à consciência universal**. Rio de Janeiro: Record, 2006.

SERAFICO, J.; SERAFICO, M. A Zona Franca de Manaus e o capitalismo no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 54, p. 99-113, 2005. Disponível em: [SciELO Brasil - A Zona Franca de Manaus e o capitalismo no Brasil A Zona Franca de Manaus e o capitalismo no Brasil](#). Acesso em: 07 jun. 2019

SIMIÃO, J. **Gerenciamento de resíduos sólidos industriais em uma empresa de usinagem sobre o enfoque da produção mais limpa**. 2011. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011. Disponível em: [Gerenciamento de resíduos sólidos industriais em uma empresa de usinagem sobre o enfoque da produção mais limpa](#). Acesso em: 12 out. 2021.

STAHEL, W. R. The product-life factor. In: ORR, S. G. (Ed.). **An inquiry into the nature of sustainable societies: the role of the private sector**. Houston: HARC, 1982. p. 171-178.

Disponível em: [Product-Life Factor \(Mitchell Prize Winning Paper 1982\) | The Product-Life Institute](#) Acesso em: 12 nov. 2021

SUÁREZ-EIROA, B. et al. Operational principles of circular economy for sustainable development: linking theory and practice. **Journal of Cleaner Production**, v. 214, p. 952-961, 2019. Disponível em: [Operational principles of circular economy for sustainable development: Linking theory and practice - ScienceDirect](#). Acesso em: 20 jun. 2021

SUFRAMA. **Cartilha de incentivos fiscais: um guia para quem deseja investir na Amazônia**. Manaus: SUFRAMA, 2016. Disponível em: [Cartilha Incentivos Fiscais PORT_VF_04_10_2014.pdf](#). Acesso em: 15 abr. 2021

SUFRAMA. **Inventário anual de resíduos sólidos industriais do Polo Industrial de Manaus (2011)**. Manaus: SUFRAMA, 2012. Disponível em: [relatorioanualdoirsuframa2012.pdf](#). Acesso em: 15 abr. 2021

SUFRAMA. **Inventário anual de resíduos sólidos industriais do Polo Industrial de Manaus (2012)**. Manaus: SUFRAMA, 2013. Disponível em: [4 BD IR-Workshop Biomassa \[Modo de Compatibilidade\]](#). Acesso em: 15 abr. 2021

SUFRAMA. **Perfil das empresas com projetos aprovados ou "em implantação" até abril de 2018**. Manaus: SUFRAMA, 2018. Disponível em: [Suframa](#) Acesso em: 15 abr. 2021

UNIDO. **An international framework for eco-industrial parks**. Vienna: United Nations Industrial Development Organization, 2017. Disponível em: [An International Framework for Eco-Industrial Parks | Sustainable Industrial Park Platform](#). Acesso em: 20 jun. 2021

WWF. **Living planet report 2012**. Gland: WWF International, 2012. Disponível em: http://assets.wwf.org.uk/downloads/lpr2012_online_single_pages_11may2012.pdf. Acesso em: 23 fev. 2022

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

YU, F. et al. Evolution of industrial symbiosis in an eco-industrial park in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 87, p. 339-347, 2015. Disponível em: [Sci-Hub | Evolution of industrial symbiosis in an eco-industrial park in China. Journal of Cleaner Production, 87, 339–347 | 10.1016/j.jclepro.2014.10.058](#). Acesso em: 24 out. 2022

ZHAO, H.; GUO, S. Evaluating the comprehensive benefit of eco-industrial parks by employing multi-criteria decision making approach for circular economy. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 2262-2276, 2017. Disponível em: [Evaluating the comprehensive benefit of eco-industrial parks by employing multi-criteria decision making approach for circular economy - ScienceDirect](#). Acesso em: 24 out. 2022