

PROJETO MINARE
2023

DIAGNÓSTICO DA MINERAÇÃO URBANA DOS RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS NO BRASIL



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES

PROJETO MINARE

EQUIPE TÉCNICA

COORDENAÇÃO:

Lúcia Helena Xavier | COPMA CETEM

PESQUISADORES:

Luciana Contador

Emmanuelle Freitas

Ricardo Sierpe

Luciana Mofati

Mariano Laio de Oliveira

Ariella Fontes

APOIO ADMINISTRATIVO - FACC:

Moema Mendonça

Dayanne Cristine Oliveira dos Santos

PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO:

Bruna Saddy

Copyright 2023 CETEM/MCTI

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte constitui violação de copyright (Lei 5.988).

TED MME nº 04/2021

Projeto CNPq Nº 404791/2022-0

CAAE: 60605422.3.0000.5268

CIP – Catalogação na Publicação

D537

Diagnóstico da mineração urbana dos resíduos eletroeletrônicos no Brasil : Projeto MINARE: relatório final / Lúcia Helena Xavier (coord.). – Rio de Janeiro : CETEM/MCTI, 2023.
38 p.
ISBN 978-65-5919-042-3.

1. Mineração urbana. 2. Resíduos eletroeletrônicos. 3. Economia circular. I. Xavier, Lúcia Helena. II. Contador, Luciana. III. Freitas, Emmanuelle. IV. Sierpe, Ricardo. V. Mofati, Luciana. VI. Oliveira, Mariano Laio de. VII. Fontes, Ariella. VIII. Centro de Tecnologia Mineral.

CDD 628.445

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do CETEM/MCTI
Bibliotecário(a) Rosana Silva de Oliveira CRB7 – 5849

COMO REFERENCIAR:

Xavier, L.H.; Contador, L.; Freitas, E.S.; Mofati, L.M.; Silva, R.S.; Fontes, A.
Diagnóstico da Mineração Urbana dos Resíduos Eletroeletrônicos no Brasil:
projeto MINARE : relatório final. Rio de Janeiro : CETEM/MCTI, 2023.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	8		
SUMÁRIO EXECUTIVO	9		
1. PROJETO MINARE	19		
1.2 Escopo do estudo	19		
1.3 Produtos e cronograma	20		
2. PANORAMA DA MINERAÇÃO URBANA DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS NO BRASIL	23		
2.1. Categorias de agentes atuantes na gestão de REEE	24		
2.1.1 Empresas produtoras e importadoras	25		
2.1.2 Empresas distribuidoras e comerciantes	26		
2.1.3 Entidades gestoras	27		
2.1.4 Cooperativas e associações de catadores	32		
2.1.5 Centro de condicionamento de computadores (CRC)	39		
2.1.6 Centros universitários e laboratórios	45		
2.1.7 Plataformas digitais	46		
2.1.8 Empresas recicladoras	50		
2.1.9 Empresas integradoras	59		
3. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO	62		
3.1 Metodologia	62		
3.2 Mapeamento	64		
4. ARCABOUÇO LEGAL E NORMATIVO	73		
4.1. Marco regulatório	74		
4.2 Escopo nacional	78		
4.3 Escopo internacional	84		
5. ESTADO DA ARTE DA MINERAÇÃO URBANA DE REEE	88		
5.1 Soluções tecnológicas	90		
5.1.1 Processos não-destrutivos	92		
5.1.2 Processos destrutivos	93		
5.1.3 Processos pirometalúrgicos	94		
5.1.4 Processos hidrometalúrgicos	95		
5.1.5 Processos biometalúrgicos	96		
5.1.6 Processos eletrometalúrgicos	96		
5.1.7 Impacto das soluções tecnológicas	97		
5.2 Análise estratégica estratégica e operacional	98		
5.3 Estrutura de sistemas de recuperação de valor	99		
5.4 Aspectos econômicos	103		
6. ESTUDOS DE CASO	109		
6.1 Indústrias de reciclagem	109		
6.2 Entidades internacionais	113		
6.4.1. EERA	113		
6.4.2 Plataforma Relac	113		
6.4.3 Plataforma de Mineração Urbana (<i>Urban Mining Platform</i>)	114		
7. ANÁLISE PROPOSITIVA	115		
7.1. Regulamentações e normas	115		
7.2. Cumprimento das metas	115		
7.3. Soluções tecnológicas	118		
7.4. Modelos de negócio para a mineração urbana	119		
8. EVENTOS	121		
9. REFERÊNCIAS	124		
APÊNDICE I	130		
APÊNDICE II	133		
APÊNDICE III	136		

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 A integração dos agentes para a mineração urbana segundo a responsabilidade compartilhada no Brasil.	10	Figura 14 Diagrama de Loop causal sobre a relação de causa e efeito dos fatores que fazem parte da cadeia de gestão de resíduos eletroeletrônicos	65
Figura 2 Tela de cadastro de agente participante do sistema de logística reversa a partir do sistema SINIR+.	29	Figura 15 “Circular Economy” AND “WEEE” OR “e-waste” OR “Electronic equipment” OR “Waste electrical electronic equipment”.	67
Figura 3 Volume de REEE colocado no mercado no ano base de 2018 e o volume coletado em 2021, para cada gestora .	30	Figura 16 “Urban mining” AND “WEEE” OR “e-waste” OR “Electronic equipment” OR “Waste electrical electronic equipment”.	68
Figura 4 Painel das doações de desktop e/ou notebooks para os Polos de Inclusão Digital – PID’s realizadas pelos CRC’s durante o ano de 2018.	43	Figura 17 “Reverse logistics” AND “WEEE” OR “e-waste” OR “Electronic equipment” OR “Waste electrical electronic equipment”.	69
Figura 5 Situação cadastral de CNPJs.	50	Figura 18 “Reverse supply chain” AND “WEEE” OR “e-waste” OR “Electronic equipment” OR “Waste electrical electronic equipment”	70
Figura 6 Percentual de empresas recicladoras por UF.	51	Figura 19 “Brazil” AND “WEEE” OR “e-waste” OR “Electronic equipment” OR “Waste electrical electronic equipment”	71
Figura 7 Geolocalização das empresas recicladoras de REEE no Brasil.	52	Figura 20 “Recycl*” AND “WEEE” OR “e-waste” OR “Electronic equipment” OR “Waste electrical electronic equipment”	72
Figura 8 PIB e PIB per capita em gradiente para o estado de São Paulo.	53	Figura 21 Relação dos principais países com políticas, programas e projetos de reaproveitamento de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos.	76
Figura 9 Ano de criação das empresas a partir do porte.	54	Figura 22 Responsabilidades dos agentes na implementação do Sistema de Logística Reversa (Xavier e Corrêa, 2013).	78
Figura 10 Distribuição espacial das empresas a partir do porte.	56	Figura 23 Número de regulamentações estaduais por UF.	79
Figura 11 Empresas Recicladoras respondentes por Estado.	59	Figura 24 Número de legislações estaduais e municipais por UF com destaque para a regulamentação até 2010 e após 2010.	80
Figura 12 Classificação das recicladoras por atividades.	60	Figura 25 Pontos de coleta de REEE instalados a partir das entidades gestoras.	81
Figura 13 Metodologia aplicada no estudo bibliométrico fazem parte da cadeia de gestão de resíduos eletroeletrônicos.	62		

Figura 26 Relação entre os atores da cadeia da gestão dos resíduos eletroeletrônicos.	89
Figura 27 Composição média dos equipamentos eletroeletrônicos.	90
Figura 28 Rota de recuperação de materiais secundários a partir de REEE.	91
Figura 29 Soluções tecnológicas identificadas no estudo bibliométrico.	97
Figura 30 Comparação entre as principais técnicas utilizadas na recuperação de materiais secundários a partir de REEE	98
Figura 31 Loop causal dos agentes que pertencem a cadeia da gestão de REEE.	102
Figura 32 Dados sobre comércio internacional, importação e exportação de REEE.	104
Figura 33 Dados sobre importação e exportação de REEE a partir do Brasil.	104
Figura 34 Países destinatários da exportação brasileira de REEE.	105
Figura 35 Exportações e importações de equipamentos de eletroeletrônicos.	107
Figura 36 Fluxo da gestão de REEE.	118

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Cronograma de entregas do Projeto MINARE.	22	Tabela 12 Metas para coleta e destinação de REEE no Brasil a partir do ano-base de 2018.	73
Tabela 2 Número de empresas por grupo de CNAE atuantes no setor de equipamentos eletroeletrônicos.	25	Tabela 13 Países que possuem políticas sobre REEE.	77
Tabela 3 Quantidade de associações e cooperativas de catadores e quantidade de catadores por macrorregião.	32	Tabela 14 Áreas e respectivas ações do sistema para a recuperação de valor no setor de gestão de resíduos eletroeletrônicos.	100
Tabela 4 Cooperativas e associação de catadores atuando na resíduos eletroeletrônicos entrevistadas.	36	Tabela 15 Geração de REEE per capita no mundo.	105
Tabela 5 Rede de CRCs atualmente vinculada ao MCom.	41	Tabela 16 Valor de cotações de commodities (US\$/tonelada).	106
Tabela 6 Dados das entrevistas realizadas com CRC's.	44	Tabela 17 Valores comerciais e peso líquido de exportação de resíduos contendo metais preciosos do Brasil em 2021.	107
Tabela 7 Principais sistemas que compõem a plataforma digital SINIR+.	49	Tabela 18 Desempenho econômico do segmento de equipamentos eletroeletrônicos.	108
Tabela 8 As 20 principais classificações CNAEs das empresas recicladoras.	57	Tabela 19 Principais objetivos da Plataforma RELAC.	114
Tabela 9 Dados de algumas empresas integradoras que atuam no setor de equipamentos eletroeletrônicos no Brasil.	61	Tabela 20 Volume em peso de alguns equipamentos eletroeletrônicos colocados no mercado para o ano-base de 2018.	116
Tabela 10 Chave de busca primária.	63	Tabela 21 Dados referentes às transmissões do V IEWD – 2ª edição (dados analisados em 30.11.2022).	123
Tabela 11 Subcategorias selecionadas para análise dos artigos.	63		

APRESENTAÇÃO

O Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), enquanto instituto de pesquisa vinculado ao Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), tem atuado em diferentes áreas buscando contribuir para a inovação e a sustentabilidade do setor mineral no país.

Proposto a partir da parceria com a Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral (SGM) do Ministério de Minas e Energia (MME), o *Diagnóstico da Mineração Urbana dos Resíduos Eletroeletrônicos no Brasil – Projeto MINARE*, tem como principal missão apresentar o panorama nacional e internacional da mineração urbana no setor e apresentar as principais recomendações para apoiar estratégias sustentáveis para a tomada de decisão e a elaboração de políticas públicas no setor.

Iniciativas mundiais para a adoção dos princípios da economia circular em diferentes cadeias produtivas refletem a importância da mineração urbana. A escassez de matérias-primas a partir do esgotamento de reservas naturais ou o comprometimento no fornecimento de insumos são fatores que, juntamente com a variação do preço de commodities, coloca a mineração urbana como uma importante ferramenta para a recuperação de valor a partir da obtenção de materiais secundários. Desta forma, preservando os estoques naturais e contribuindo para a circularidade de processos.

O projeto MINARE foi desenvolvido pelo grupo de pesquisa REMINARE. O grupo tem desenvolvido nos últimos cinco anos pesquisas no CETEM em temáticas relacionadas à economia circular, logística reversa e mineração urbana,

buscando contribuir com o setor em áreas inovadoras. A partir de uma equipe multidisciplinar foram abordados aspectos técnicos, políticos, e econômicos da gestão de resíduos eletrônicos como forma de consubstanciar as análises e propor o diagnóstico alinhado com as melhores práticas para a mineração urbana.

Com uma grande diversidade de materiais de alto valor agregado, os resíduos eletroeletrônicos representam uma importante fonte de recursos secundários a serem explorados por meio da mineração urbana. A partir de volumes de importação de sete vezes maior que a produção dos equipamentos eletroeletrônicos, o Brasil possui minas urbanas importantes como fontes potenciais para a recuperação de metais valiosos e a possibilidade de organização de modelos de negócio sustentáveis que podem ser beneficiados pela estruturação de cadeias reversas amparadas em instrumentos regulatórios e estratégias organizações alinhadas com os princípios da economia circular.

SUMÁRIO EXECUTIVO

O DESAFIO DA GESTÃO DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS

A gestão de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) encontra-se regulamentada em muitos países e diferentes soluções têm sido apresentadas no intuito de se discutir a relevância do tema frente à iminente escassez de materiais, importância no contexto da economia circular, regulamentação, integração de cadeias e maturidade tecnológica dos processos.

Desta forma, a partir do evento *5º Dia Internacional dos Resíduos Eletrônicos (V IEWD)*, são apresentados os tópicos de referência identificados a partir da contribuição de principais especialistas do mundo que atuam no setor. As diferentes instituições representadas contribuem, portanto, para uma visão sistêmica e colaborativa no sentido de identificar o valor potencialmente recuperável a partir dos REEE e, da mesma forma, mitigar os potenciais impactos decorrentes da gestão dessa categoria de resíduos.

A transição para a economia circular tem endossado a importância das práticas relacionadas à gestão de REEE e ainda propõe a qualificação dos resíduos como potenciais recursos a serem recuperados com a retenção e adição de valor. Assim, é proposto o registro de temas emergentes a serem desenvolvidos de forma simbiótica entre diferentes agentes atuantes na mineração urbana de REEE no Brasil.

Modelos de negócio sustentáveis tem se estabelecido nos últimos anos no país e apontam para a possibilidade de autossuficiência na recuperação de materiais secundários como é o caso,

por exemplo, da recuperação de alumínio a partir de latinhas pós-consumo. A partir do volume de REEE gerado no país, calculado em mais de 2 milhões de toneladas para o ano base de 2018, identifica-se o montante de metais e plásticos a serem recuperados, 1,2 Mt e 307 mil toneladas, respectivamente.

O potencial de recuperação de materiais secundários depende do estabelecimento de modelos de negócios circulares com a integração dos agentes da cadeia. Conforme evidenciado na Figura 1, os requisitos legais e normativos estabelecem as responsabilidades e a abrangência da atuação dos agentes participantes segundo o conceito da responsabilidade compartilhada.

Responsabilidade compartilhada

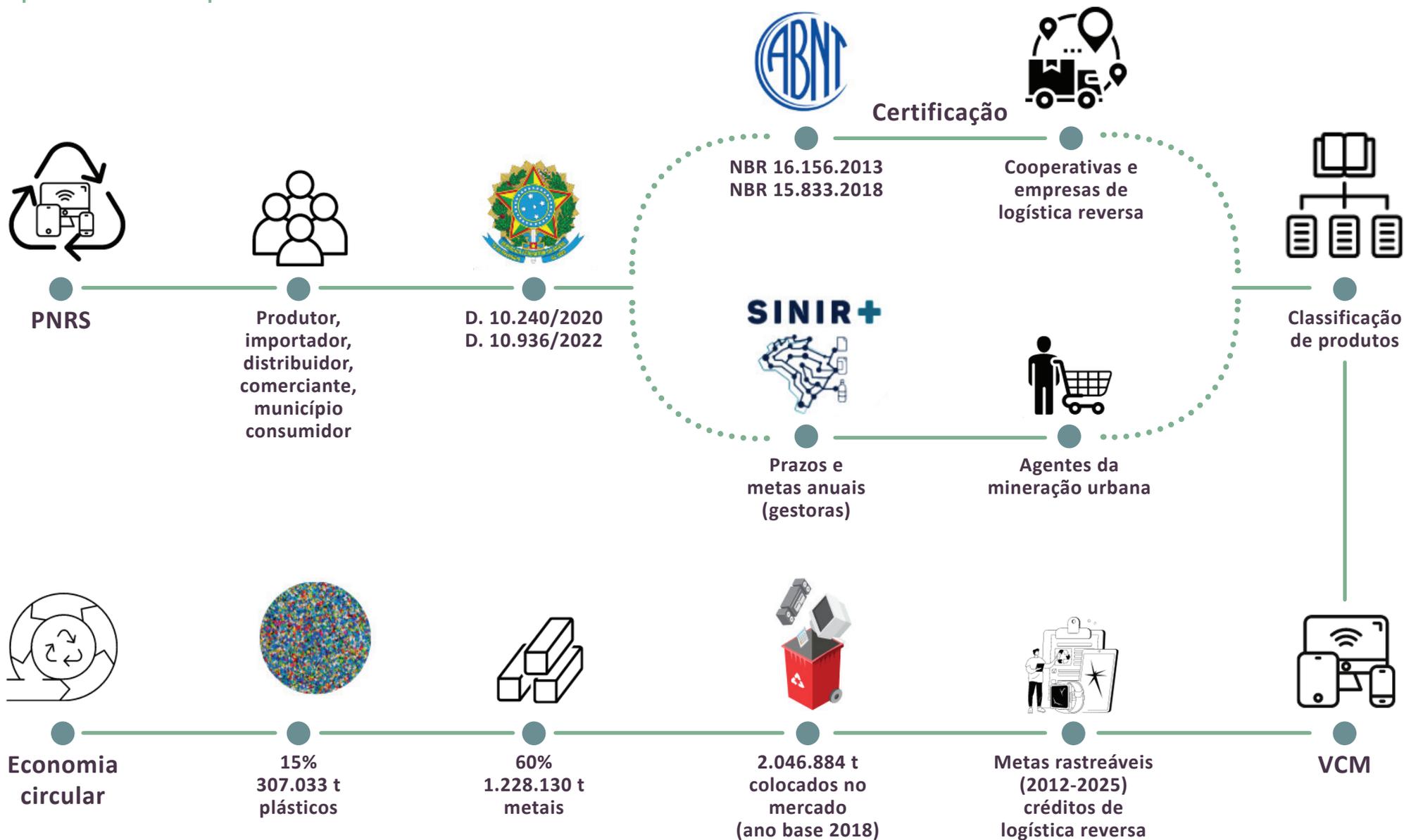


Figura 1- A integração dos agentes para a mineração urbana segundo a responsabilidade compartilhada no Brasil.

A REGULAMENTAÇÃO DA GESTÃO DE RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS NO BRASIL

A gestão de resíduos eletroeletrônicos (REEE) no Brasil é regulamentada pela Lei nº 12.305 de 2010 e o Decreto nº 10.240 de 2020. O decreto estabeleceu os requisitos para a implementação do sistema de logística reversa de REEE com metas crescentes não cumulativas para a coleta e destinação. As metas, iniciando em 2021 em 1% e concluindo em 2025 com 17% é baseada no volume colocado no mercado (VCM) dos equipamentos eletroeletrônicos para o ano-base de 2019.

O cálculo do VCM a partir dos 210 itens do Anexo I do Decreto. Em atualização da análise, alcançando o equivalente a 107 códigos NCM correspondente à 95 itens do Anexo I do Decreto nº 10.240 de 2020, ou seja 45,24% dos produtos, foi alcançado o VCM equivalente a 2,047 milhões de toneladas.

Volume em peso de alguns equipamentos eletroeletrônicos colocados no mercado para o ano-base de 2018

EQUIPAMENTOS	PESO (TONELADAS)
Aparelhos para refrigerar e/ou congelar alimentos e bebidas	318.826
Ar-condicionado	193.228
Aparelhos para aparar e/ou cortar barba, pelos e cabelos	103.082
Aparelho de massagem e outros aparelhos para o cuidado do corpo	174.232
Aparelho de rádio e sistema de som	13.448
Aparelho de televisão	1.403
Aparelho de videogame	12.307
Aparelhos de aquecimento de água para preparar café e/ou chá	65.858
Aspirador de pó	30.331
Aparelhos para bater, centrifugar, espremer, fatiar, moer, processar e triturar alimentos	139.347
Brinquedos elétricos ou eletrônicos	284.366
Calculadoras	10.687
Carregador portátil USB	26.467
Telefone Celular	3.223
Aparelhos para grelhar e/ou chapear alimentos	6.798
Ventiladores e/ou circuladores diversos	32.831
Fogões, fornos e churrasqueiras	4.819
Computadores portáteis, tablets, e-reader e semelhantes	305
Controle remoto	7.398
Computador de mesa tipo Desktop	153.583
DVD player	351.897
Aparelhos para cuidados com cabelo	69.140
Ferro de roupa	24.156
Fritadeiras e panelas elétricas	14.574
HDD - HDs de computadores inclusive do tipo SATA	4.582
Total	2.046.884

COMPORTAMENTO DO CONSUMIDOR

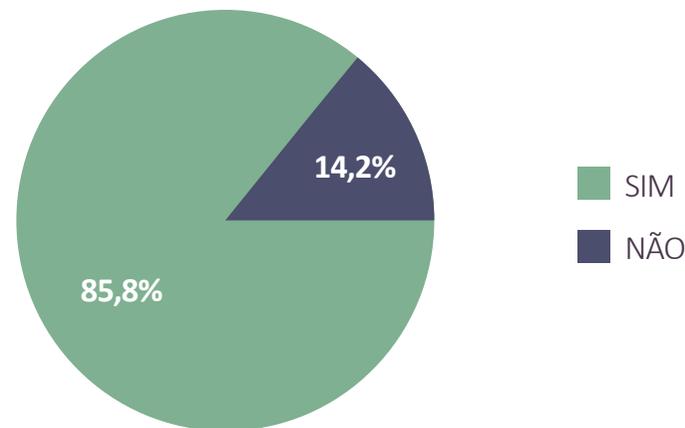
A participação dos consumidores no sistema de logística reversa é uma condição fundamental para o sucesso do cumprimento das metas de coleta e destinação de resíduos. A partir de estudo de campo com consumidores de todos os estados brasileiros com a participação de 1.236 respondentes foi possível verificar que 85,6% dos consumidores possuem algum equipamento eletroeletrônico pós-consumo fora de funcionamento armazenado nas residências. Este valor é interpretado como índice de retenção e revela por um lado a preocupação dos consumidores quanto o potencial impacto dos REEE e ainda reflete a necessidade do estabelecimento de mecanismos para informar e incentivar sobre a destinação ambientalmente correta.

A seguir são apresentadas algumas das respostas obtidas por meio da pesquisa “5 perguntas em 5 minutos” realizada entre setembro e outubro de 2022.

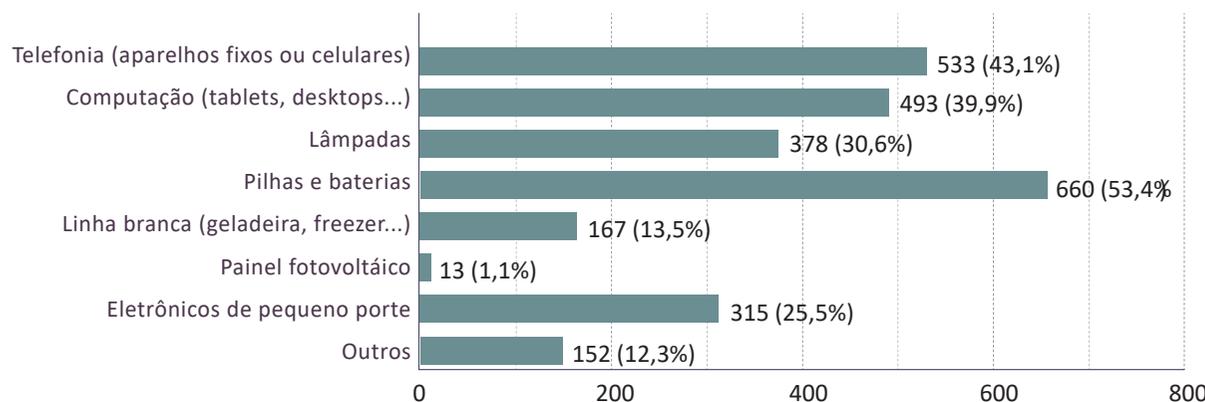
Dentre as categorias de REEE, os consumidores informaram que pilhas e baterias, telefonia, computação e lâmpadas são os itens mais frequentes. Desta forma, diferentes rotas de coleta e processamento precisam ser consideradas como forma de recuperação de valor e potencial e obtenção de materiais secundários.

Diferentes materiais valiosos podem ser recuperados a partir de equipamentos de alto potencial tecnológico, como é o caso dos computadores e smartphones. No entanto, lâmpadas e monitores do tipo CRT são exemplos de equipamentos eletrônicos que exigem procedimentos de descontaminação.

Você possui em sua residência algum equipamento eletroeletrônico que não funciona mais (impressora, celular, calculadora, telefone, liquidificador, geladeira, etc)?



Quais dessas categorias você teria hoje em sua casa e gostaria de descartar (identifique uma ou mais categorias)?



O custo de descontaminação deve ser incluído, portanto, nas etapas de processamento e incentivos econômicos para as unidades de processamento dessas tipologias de materiais devem ser priorizados.

Ainda não encontram-se estabelecidos no país regulamentações que considerem os diferentes processos usualmente considerados como reciclagem. Neste diagnóstico são consideradas 17 ações de processamento que, usualmente são consideradas como reciclagem, a saber:

1 - Transporte: Coleta e transbordo de produtos e materiais (sem estocagem);

2 - Estocagem: Armazenamento de produtos pós-consumo (apenas área de armazenagem);

3 - Logística reversa: transporte, estocagem e encaminhamento de produto pós-consumo para fins de destinação (reparo, reciclagem, aterro etc.);

4 - Manufatura reversa: logística reversa e pré-processamento de produtos e materiais com a finalidade de destinação a soluções de reuso ou reciclagem;

5 - Reparo/recondicionamento: manutenção ou recuperação do funcionamento para comercialização de produto ou peça;

6 - Coprocessamento: entrada de aparas, sucata para processos como siderurgia, metalurgia;

7 - Reciclagem: processo de transformação físico, química ou biológica para a recuperação de material a ser reinserido na cadeia produtiva na qualidade de material secundário;

8 - Emite créditos logística reversa: 1 crédito por tonelada de resíduo recuperado;

9 - Calcula créditos de carbono: A empresa presta o serviço de quantificação dos créditos de carbono relacionados aos processos de uma terceira empresa para fins de relatório de sustentabilidade, sem a emissão dos créditos;

10 - Emite créditos de carbono: 1 crédito por tonelada de carbono evitado/capturado;

11 - Gestora: pessoa jurídica constituída pelas empresas fabricantes e importadoras ou associações de fabricantes e importadores de produtos eletroeletrônicos, que atenda aos requisitos técnicos de gestão, com o objetivo de estruturar, implementar e operacionalizar o sistema de logística reversa. Ex.: ABREE, GREEN ELETRON e RECICLUS;

12 - Cooperativa: associação e cooperativa de catadores;

13 - Fornecedor: fornece produtos e materiais pós-consumo;

14 - Integradora: empresa que atua na interface entre o produtor e o distribuidor, provendo a montagem do produto ou na interface entre o distribuidor/importador e o consumidor, fornecendo o serviço de instalação ou manutenção do produto;

15 - Comprador: realiza a compra produtos e materiais pós-consumo;

16 - Exportação: organização que atua na preparação de lotes de REEE com a finalidade de exportação;

17 - Plataformas digitais: sistemas informatizados que permitem a coleta e gerenciamento de dados com a finalidade de possibilitar a rastreabilidade e acompanhamento da gestão de resíduos.

Como reciclagem pode-se considerar as etapas de transformação físico-química ou biológica dos materiais e produtos. Desta forma, considerando-se as etapas da metalurgia básica para a recuperação de minerais, foram analisados os potenciais de cada técnica, considerando-se indicadores como eficiência de recuperação de metais, custo de implementação e operação, consumo de energia, consumo de água e impacto ambiental.

Nesta análise transversal é possível uma rápida análise comparativa do potencial das respectivas técnicas de forma comparativa. No entanto, estudos mais detalhados e considerando-se análises experimentais possibilitariam uma avaliação mais precisa para cada uma das categorias de REEE passíveis de mineração urbana. Análise comparativa e qualitativa dos impactos potenciais das principais técnicas utilizadas na recuperação de materiais secundários.

Comparação entre as principais técnicas utilizadas na recuperação de materiais secundários a partir de REEE

		PIRO-METALURGIA	HIDRO-METALURGIA	BIO-METALURGIA	ELETRO-METALURGIA
	Ineficiência de recuperação de metais	Alto	Médio	Alto	Médio
	Custo de implementação	Alto	Médio	Médio	Médio
	Custo de operação	Alto	Médio	Médio	Médio
	Mão de obra	Médio	Médio	Alto	Médio
	Consumo de energia	Alto	Médio	Médio	Médio
	Consumo de água	Médio	Alto	Alto	Alto
	Demanda de volume	Alto	Médio	Médio	Alto
	Tempo de processo	Médio	Médio	Alto	Alto
	Emissões gasosas	Alto	Médio	Médio	Médio
	Impacto ambiental	Alto	Médio	Médio	Médio



ASPECTOS ECONÔMICOS

O potencial de recuperação de valor a partir da mineração urbana de REEE pode variar significativamente de acordo com o valor de mercado dos materiais e ainda com o volume de produtos descartados e coletados. O valor dos materiais nas principais bolsas internacionais é um dos parâmetros utilizados para a prospecção do potencial das minas urbanas. No entanto, os valores dos materiais secundários podem variar significativamente dentro de um mesmo país, aumentando o nível de incerteza do setor.

Os volumes de importação e exportação da categoria HS 8548 a partir do Brasil evidencia o crescimento da importação e uma acentuada queda na exportação para os últimos anos. Essa tendência pode revelar tanto a mudança das práticas nos últimos anos como também pode significar a ocorrência de processos de exportação ilegal e, por isso, não registrados pelos mecanismos oficiais.

Dados UN Comtrade Brasil (HSN Code 8548)



Dados sobre importação e exportação de REEE a partir do Brasil. Fonte: UN Comtrade

Valor de cotações de commodities (US\$/tonelada)

COMMODITIES	BOLSA DE SHANGHAI ¹	LONDON METAL EXCHANGE ²
Alumínio	2.366,00	2.367,50
Chumbo	2.107,50	2.130,00
Cobre	7.987,00	8.041,00
Estanho	22.028,00	22.238,00
Níquel	25.570,50	26.100,00
Zinco	2.928,50	2.918,00
Cobalto	-	51.955,00
Lítio (hidróxido)	-	84.800,00
Ouro ³	1.753,50	-
Paládio	1.821,78	1.895,00
Platina	985,35	991,00
Prata	21.440,00	-
Sucata aço	-	553,50

Fonte: Bolsa de Shanghai e London Metal Exchange, valores para dezembro de 2022.

Valores não encontrados identificados por “-”.

¹ Bolsa de Shanguai (<https://br.investing.com/commodities/metals>)

² LME – London Metal Exchange (<https://www.lme.com/Metals>)

³ Unidade em onça Troy

O aumento dos procedimentos de rastreabilidade tende a contribuir para aumentar o grau de certeza na comercialização dos REEE, bem como contribuir para o estabelecimento de processos de recuperação de materiais secundários no próprio país, aumentando o valor agregado do material processado internamente e melhorando os índices de circularidade a partir do estabelecimento de novos modelos de negócio.

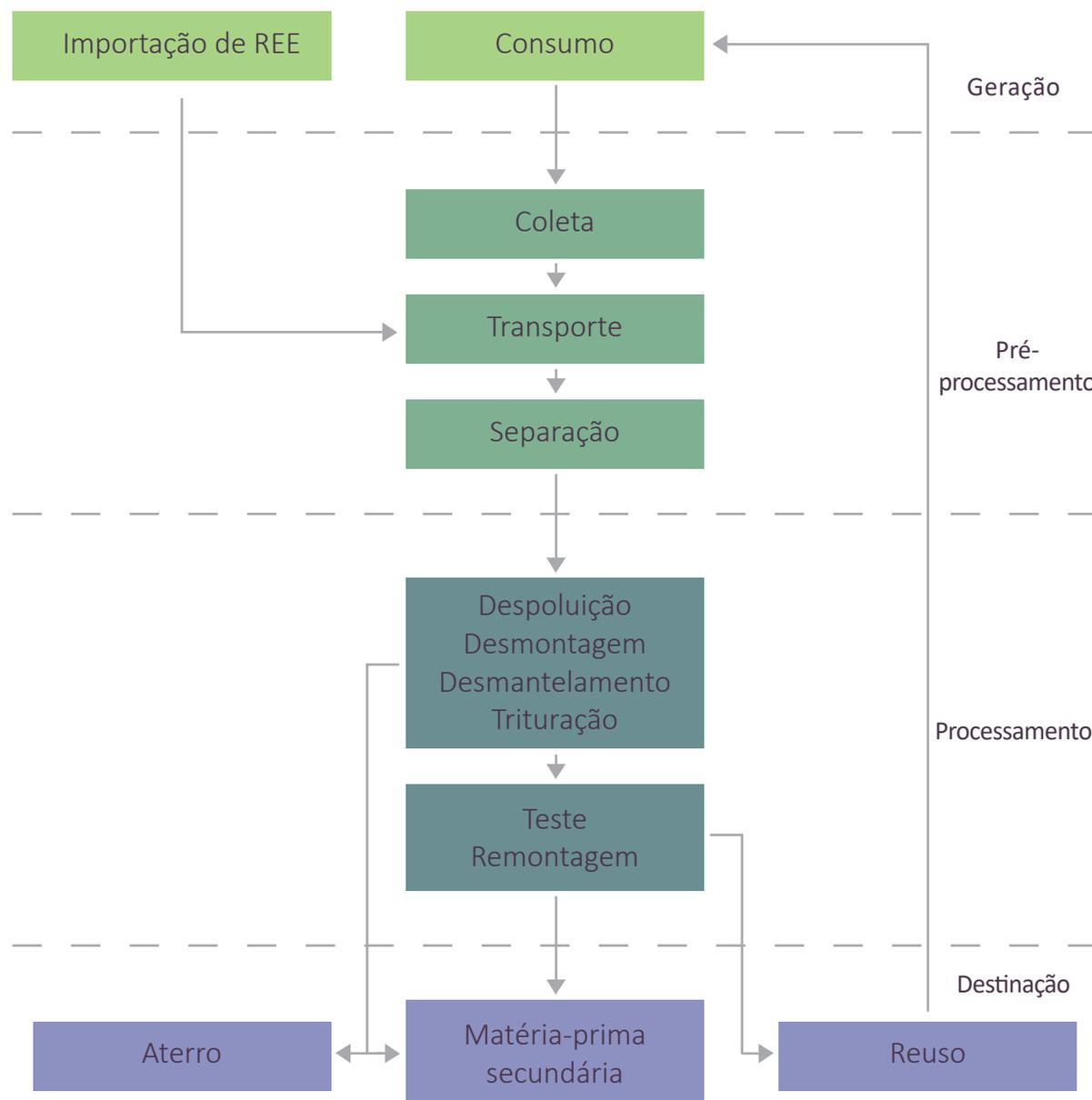
MODELOS DE NEGÓCIO PARA A MINERAÇÃO URBANA

A efetividade na gestão de REEE no Brasil se baseia nos principais modelos de negócio estabelecidos. Parte dos modelos estabelecidos antes da implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) se caracterizaram por uma adaptação de processos de gestão de resíduos ou processos metalúrgicos básicos. Após a PNRS e, principalmente, com a iminência da definição dos requisitos para o acordo setorial.

As etapas de geração, pré-processamento, processamento e destinação consideram procedimentos de concentração a partir dos estoques antropogênicos, passam por processos de segregação e recuperação de produtos, componentes e materiais, conforme destinação pretendida.

O estabelecimento de unidades de coleta, processamento e recuperação de materiais secundários encontra-se concentrado na região sudeste e, mais especificamente, no estado de São Paulo. Essa concentração visa atender a grande geração de REEE na região.

Fluxo da gestão de REEE (Modificado a partir de World Bank, 2012)



No entanto, a desigualdade na distribuição de pontos de processamento pode refletir na formação de mercados de reciclagem díspares entre as regiões do país e acentuar ainda mais a falta de harmonia entre os documentos regulatórios e as práticas operacionais.

A concentração de empresas de reciclagem na região Sudeste tende a atrair as cargas de REEE geradas e coletadas nas demais regiões. Com longas distâncias percorridas para a destinação do REEE em unidades de reciclagem há a possibilidade de maior emissão atmosférica a partir do consumo de combustíveis fósseis na etapa de transporte.

Percentual de empresas recicladoras por UF.



O estabelecimento de modelos de negócio pautados na economia circular são uma tendência mundial e o Brasil já empreende no setor. No entanto, as longas distâncias percorridas e o tipo de combustível utilizado na coleta podem resultar em menor nível de circularidade para as soluções em curso e, desta forma, reduzir a sustentabilidade dos sistemas de logística reversa.

Apesar de ainda haver pouca articulação entre os agentes do setor, verifica-se ações inovadoras e com significativo potencial para dirimir os desafios que se apresentam. Dentre os principais modelos de negócio identificados pelo diagnóstico, apresentam-se:

a) Mecanismo de coleta ativa - Campanhas sazonais de coleta (hakatons, gincanas escolares, etc) para estímulo a consolidação de volumes;

a) Mecanismo de coleta passiva - Estabelecimento de pontos de entrega voluntária (PEVs) inteligentes com acompanhamento de taxas de destinação e comportamento do consumidor;

a) Sistema de rastreabilidade - Desenvolvimento e integração de plataformas digitais para o gerenciamento das minas urbanas;

a) Banco de dados de materiais secundários - Análise do balanço de massa por equipamentos, modelos ou marcas para oferta de serviços customizados de recuperação de materiais secundários;

a) Parques eco-industriais – estímulo ao estabelecimento de parques industriais integrados com base no conceito de ecologia industrial visando minimizar impactos e potencializar a recirculação de produtos e materiais secundários;

a) Pólos de consolidação – uso da estrutura dos CRCs para consolidação, triagem e separação dos equipamentos destinados, aumentando a rastreabilidade do sistema.

PRINCIPAIS RECOMENDAÇÕES PARA A ESTRUTURAÇÃO DA MINERAÇÃO URBANA DOS RESÍDUOS ELETROELETRÔNICOS NO BRASIL

1 - O arcabouço legal e normativo brasileiro encontra-se em grau satisfatório de maturidade, requerendo, no entanto, a harmonização dos termos e definições, bem como alinhamento dos requisitos entre as unidades federativas;

2 - O volume de REEE gerado no Brasil tende a viabilizar a instalação e o desenvolvimento de processos de recuperação de materiais secundários, atentando para a necessidade do estabelecimento de mecanismo legais para a destinação ambientalmente adequada dos resíduos ao longo dos processos;

3 - O estabelecimento da logística reversa de REEE para produtos domésticos representa uma pequena proporção do volume de equipamentos eletroeletrônicos colocados no mercado em peso e, por isso, compromete o atingimento das metas;

4 - O mecanismo para a comprovação da origem dos REEE não se encontra estabelecido, desta forma, organizações como associações e cooperativas encontram-se alijadas do processo de consolidação das metas;

5 - Os parâmetros sobre o risco potencial das substâncias perigosas, a exemplo da Diretiva Europeia RoHS, precisam ser analisados, validados e aplicados internacionalmente, em alinhamento com os princípios das principais Convenções: Basileia, Estocolmo, Minamata e Rotterdã.

6 - O estabelecimento de metas e prazos escalonados para a coleta e para a destinação dos REEE a exemplo de outros setores, deve ocorrer considerando aspectos como consumo per capita, densidade populacional e custos logísticos envolvidos;

7 - A manutenção de uma base de dados para a gestão de recursos primários, como o COMEXMIN (Brasil), representa um significativo avanço em relação ao potencial de rastreabilidade das cadeias produtivas e consolidação de estratégias. A exemplo da Urban Mining Platform (Europa) ou as edições do E-Waste Monitor (global) pode-se estruturar uma base com dados dos países latino-americanos;

8 - A partir de condições que afetaram diferentes cadeias de suprimento em todo o mundo, seja a partir da pandemia ou de situações de emergência por desastres naturais ou instalação de guerra, percebeu-se a necessidade de estratégias para manutenção do fornecimento de insumos, produtos e serviços. Desta forma, o princípio de proximidade tem sido priorizado e o incentivo à localização de unidades de processamento em diferentes países pode ser uma tendência a se observar;

9 - Diferentes iniciativas têm sido mobilizadas para a integração de cadeias e difusão de conhecimento entre os países latino-americanos, a saber: E-waste LATAM, EWAM, PREAL e Plataforma RELAC;

10 - O estabelecimento de critérios uniformes e justos social e ambientalmente devem ser observados;

11 - A atribuição de taxas aos processos inerentes à gestão de REEE precisam ser transparentes e condizentes com as diferentes etapas, de modo a incentivar o estabelecimento de processos alinhados à economia circular;

12 - Estudos que viabilizem a identificação e quantificação de potenciais minas urbanas e mecanismos para processamento pautados nos princípios da economia circular carecem de incentivos.

1. PROJETO MINARE

O *Projeto MINARE* tem como objetivo a realização do **Diagnóstico da Mineração Urbana dos Resíduos Eletroeletrônicos no Brasil**. A proposta é viabilizada por meio de um TED entre a Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral - SGM/MME e o Centro de Tecnologia Mineral - CETEM/MCTI.

O diagnóstico sobre o gerenciamento dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) no Brasil consiste no primeiro produto do projeto, juntamente com a identificação de soluções tecnológicas e a proposição de conteúdo que apoie a elaboração de políticas públicas, como segundo e terceiro produtos respectivamente. O projeto contribui para a consolidação de infraestrutura para a recuperação de valor a partir do processamento de REEE como materiais secundários.

O projeto tem como ponto de partida o levantamento das informações e práticas institucionais e empresariais relacionadas ao tema, a partir da avaliação da literatura acadêmica nacional e internacional, bem como análise de estudos de caso.

Desta forma, o *Projeto MINARE* consiste em um estudo prospectivo sobre mineração urbana de REEE no país e identifica aspectos da consolidação de um parque eco-industrial diversificado e com potencial de recuperação de valor. O projeto está alinhado com o processo de normalização da economia circular no âmbito internacional, com foco tanto no prolongamento da vida útil de produtos e materiais pós-consumo, como a reciclagem destes materiais pós-consumo por meio da mineração urbana.

A análise dos resultados possibilitou a consolidação de temas emergentes que servirão como subsídio para a tomada de decisão empresarial, a estruturação de regulamentações e normas relacionadas ao tema, como ainda o estabelecimento de mecanismos integrados para o incentivo à pesquisa e desenvolvimento de soluções tecnológicas.

1.1 ESCOPO DO ESTUDO

A definição da mineração urbana é relativamente recente, mas suas aplicações já se encontram em curso em diferentes setores, além de configurar como uma importante ferramenta para a prática da economia circular. No entanto, o potencial da recuperação de valor a partir de materiais secundários no Brasil ainda não foi mapeado e possivelmente tenha sido pouco explorado. O presente projeto, portanto, busca identificar e analisar os principais requisitos e o potencial para a mineração urbana a partir dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos como material secundário, considerando as principais abordagens, conforme apresentado a seguir.

- (i) Definições e avaliação dos conceitos relacionados à mineração urbana de eletroeletrônicos;
- (ii) Identificação e qualificação dos agentes atuantes na gestão de REEE;
- (iii) Identificação do estado da arte no Brasil e no exterior a partir da abordagem de soluções tecnológicas, regulamentação;
- (iv) Avaliação do grau de maturidade das soluções de mineração urbana de REEE;

- (v) Identificação de modelos de negócios e tendências de mercado global em relação a gestão de REEE;
- (vi) Proposição de mecanismos legais e normativos para o setor como contribuição para políticas públicas;
- (vii) Proposição de desenvolvimento de soluções tecnológicas para a gestão de REEE;
- (viii) Realização de eventos para difusão do conhecimento.

1.2 PRODUTOS E CRONOGRAMA

O projeto compreende a entrega de três produtos, conforme detalhado a seguir.

Produto 1: Diagnóstico da mineração urbana

Diagnóstico sobre o descarte e a tecnologia de reciclagem e reaproveitamento de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos para recuperação de materiais secundários.

Ações:

- a) Identificação, endereço, sítio eletrônico, e-mails institucionais, contatos dos pontos focais das principais instituições governamentais, centros de pesquisa, universidades, laboratórios, associações; cooperativas de catadores e empresas de produção a partir da recuperação de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, consideradas fontes de dados para esse projeto;
- b) Levantamento bibliográfico e resumo dos principais estudos nacionais sobre resíduos de equipamentos eletroeletrô-

nicos e se for o caso, internacionais, incluindo no resumo a metodologia utilizada, as conclusões de cada estudo, suas recomendações, diretrizes e sugestões;

- c) Panorama do descarte, coleta e reaproveitamento dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos;
- d) Identificação de tecnologias para recuperação e aproveitamento dos resíduos de equipamentos eletroeletrônicos: produtos e coprodutos;
- e) Abordagem de estudos de caso de empresa com contribuição para a mineração urbana e economia circular.

Produto 2: Estado da arte

Relatório sobre a descrição e análise da situação atual e cenários do reaproveitamento de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos em âmbito nacional e mundial para recuperação de materiais secundários.

Ações:

- a) Relação dos principais países com políticas, programas e projetos de reaproveitamento de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos;
- b) Exemplos internacionais de regulamentação dos sistemas de logística reversa (take-back systems) e mecanismos de reaproveitamento de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos;
- c) Caracterização e detalhamento das principais tecnologias utilizadas para o reaproveitamento de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos em escala global;

- d)** Análise comparativa dos modelos de regulamentação e os sistemas de logística reversa no âmbito nacional e internacional;
- e)** Análise de tendências do mercado global em relação ao reaproveitamento REEE.

Produto 3: ANÁLISE PROPOSITIVA

Soluções tecnológicas - Relatório final com propostas de medidas e políticas para a regulamentação e o desenvolvimento de soluções tecnológicas eficientes para o reaproveitamento de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos para recuperação de substâncias metálicas.

Ações:

- a)** Sistematização e integração dos dados e demais informações dos Produtos 1 e 2, com o resumo metodológico e os principais resultados obtidos, bem como as principais conclusões e considerações;
- b)** Análise preliminar sobre o atendimento dos resultados esperados do projeto, ou seja, se os resultados esperados foram atingidos ou poderão ser atingidos a partir dos estudos, levantamentos, análises, discussões, propostas e recomendações apresentadas ao longo dos quatro produtos;
- c)** Proposta de medidas e políticas para a regulamentação e o desenvolvimento de soluções tecnológicas eficientes para o reaproveitamento de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos;
- d)** Identificação das oportunidades, os desafios, os compo-

nentes limitadores ou restrições para o reaproveitamento sustentável desses materiais secundários;

- e)** Recomendações e proposições de ações, iniciativas, parcerias e políticas para o aproveitamento dos resíduos de REEE e políticas para a regulamentação e o desenvolvimento de soluções tecnológicas eficientes para o reaproveitamento desses resíduos. Quando possível, apresentar casos de sucesso nacionais e internacionais, desde que sejam aplicáveis à realidade brasileira.

3.2. Apresentação de um seminário online de resultados do estudo.

- a)** Elaborar apresentação para o seminário online previsto, sintetizando as metodologias aplicadas, os principais pontos dos estudos, as premissas, os resultados e as conclusões obtidas;
- b)** Encaminhar versão preliminar da apresentação para avaliação de conformidade, em dois idiomas (versão português e inglês), conforme cronograma definido no Plano de Trabalho;
- c)** Realizar seminário de apresentação dos resultados e conclusão do Projeto, abrangendo o método, os principais pontos dos estudos, as premissas adotadas, os resultados, conclusões obtidas e recomendações, dentre outros aspectos relevantes. O evento acontecerá de forma remota (on-line), deve ser permitida a interação com os participantes e discussões. O seminário será realizado em um período de até 4 (quatro) horas, com a participação de tomadores de decisão no âmbito governamental, acadêmico e empresarial. O público-alvo consiste em gestores públicos e privados, bem

como representantes de associações e da sociedade. A infraestrutura e equipe técnica para a realização do evento será estabelecida a partir da parceria entre o CETEM e a SGM;

d) Disponibilizar todos os documentos utilizados ou elaborados pela consultoria, incluindo apresentação, figuras em alta resolução e lista de presença do evento.

O cronograma de desenvolvimento do projeto se concentrou entre os meses de julho a dezembro de 2022 com entregas previstas para os meses de setembro, novembro e dezembro (Tabela 1). Foram realizadas reuniões semanais de acompanhamento entre as equipes de desenvolvimento e reuniões quinzenais de acompanhamento com a equipe da SGM/MME.

Tabela 1 - Cronograma de entregas do Projeto MINARE.

MÊS	ENTREGAS
JULHO	Levantamento bibliográfico e recrutamento da equipe
AGOSTO	Resultados preliminares
SETEMBRO	Diagnóstico da mineração urbana
OUTUBRO	Relatório parcial e realização do V IEWD em 14 de outubro de 2022
NOVEMBRO	Estado da arte Análise propositiva Realização do V IEWD - 2ª edição, nos dias 21 a 23 de novembro de 2022
DEZEMBRO	Relatório traduzido para inglês e espanhol

2. PANORAMA DA MINERAÇÃO URBANA DE RESÍDUOS

A coleta de dados sobre o conjunto de agentes que atuam na gestão de REEE consta como etapa inicial da pesquisa. Para tanto, foram buscados estudos anteriores sobre o tema.

Uma das primeiras referências sobre a abordagem da gestão de resíduos eletroeletrônicos no Brasil foi o estudo *Wasting no Opportunity – The case for managing Brazil’s electronic waste* (World Bank, 2012) um estudo sobre a gestão de REEE no Brasil que abordou, a partir de uma parceria entre o Banco Mundial e o Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI). Nesse primeiro estudo foi abordada a proposta de recuperação de materiais secundários a partir dos REEE destacando a importância da regulamentação.

Um segundo estudo sobre a Viabilidade Técnica e Econômica da Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos (Inventta, 2012), foi desenvolvido a partir da cooperação entre a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial – ABDI e o Ministério do Desenvolvimento Indústria e Comércio Exterior – MDIC. Mesmo antes do acordo setorial para a implantação do processo de logística reversa para o setor eletroeletrônico, esse segundo estudo destacou a vanguarda da PNRS ao estabelecer responsabilidades para o consumidor, iniciativa privada e o poder público, bem como consagra a importância social da reciclagem de resíduos a partir da atuação formal de associações e cooperativas de catadores no país. O estudo destaca ainda a importância da logística reversa na prevenção ou mitigação de impactos potenciais decorrentes da gestão dos REEE.

O estudo destacou a importância do reuso dos equipamentos eletroeletrônicos como forma de preservação de recursos, incentivo

à inclusão digital e a remanufatura a partir de componentes pós-consumo. Uma prática ainda não regulamentada no país.

Conforme a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei nº 12.305 de 2010 (BRASIL, 2010) e Decreto nº 10.936 de 2022 (BRASIL, 2022), o conjunto de agentes que atuam na logística reversa e gestão de REEE é composto por consumidores, produtores, importadores, distribuidores e comerciantes. Além desses agentes, considera-se ainda as entidades gestoras e os operadores, conforme proposto pelo Decreto nº 10.240/2020, que regulamenta a implantação dos sistemas de logística reversa no setor. Desta forma, a identificação dos agentes partiu do levantamento de informações para este conjunto e teve como base as informações do projeto DATARE (2021). Projeto desenvolvido pelo Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), entre os anos de 2020 e 2021 por encomenda do MCTI.

A terminologia “empresas recicladoras” tem sentido genérico e agrega empresas de diferentes portes e atuações na cadeia para a gestão de REEE, com significativa diversidade. Essa variedade pode ser percebida a partir das diferentes categorias de atividades conforme apresentado e discutido no relatório.

O levantamento de empresas foi iniciado sobre a base de cadastro de empresas pré-existentes, coletadas por meio do Sistema para a Gestão de Resíduos Eletroeletrônicos do Brasil - Sis-DATARE, como parte do Projeto DATARE, desenvolvido pelo CETEM entre janeiro de 2020 e outubro de 2021 (CNPq nº 400555 CAAE: 44800521.2.0000.5268). Como justificativa, o Projeto DATARE objetivou o levanta-

mento do conjunto de empresas que realizam a gestão de resíduos eletroeletrônicos no Brasil.

Foi realizada a checagem das bases geradas e conferência das empresas, além de um breve levantamento de mais empresas disponibilizadas por outras fontes de dados, como redes e grupos de resíduos eletroeletrônicos. Adicionalmente, para efeitos de dupla checagem, em paralelo foi executada uma macro no Excel que extraiu as informações relativas aos CNPJs listados. Foram extraídos dados cadastrais da base original da Receita Federal, tais como: CNAE primário, razão social, capital social, endereço e nome fantasia. A busca foi ampliada utilizando-se sites de busca e indicação das próprias empresas identificadas.

As empresas que atuam na gestão de REEE representam a categoria mais complexa do conjunto de agentes em razão da diversidade de atuação e classificação das atividades.

2.1. CATEGORIAS DE AGENTES ATUANTES NA GESTÃO DE REEE

O primeiro nível para a categorização dos agentes da gestão de REEE no Brasil teve base a definição do conceito de responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida apresentado na Lei nº 12.305 de 2010, em seu artigo 3º:

“XVII - responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos: conjunto de atribuições individualizadas e encadeadas dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, dos consumidores e dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos

sólidos, para minimizar o volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados, bem como para reduzir os impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental decorrentes do ciclo de vida dos produtos, nos termos desta Lei; “

A partir do entendimento de que os agentes públicos de limpeza urbana já possuem função bem definida e que só atuam nos sistemas de logística reversa mediante remuneração (BRASIL, 2022), foram considerados deste diagnóstico as demais categorias, agrupando-se os produtores (fabricantes e importadores) e comerciantes (distribuidores e comerciantes propriamente dito). Ao todo, foram identificadas oito categorias de agentes atuantes na gestão de REEE.

O levantamento de dados para a categoria recicladoras teve como ponto de partida os resultados do Projeto DATARE (2021) que consolidou uma base de dados com mais de 370 empresas. Como as empresas denominadas recicladoras apresentaram grande diversidade de atuação, foi proposto um segundo nível de classificação com o intuito de sistematizar a coleta de informações.

Para tanto, a partir da base de dados do Projeto DATARE, foi realizada verificação e atualização da base de dados inicial, incluindo novas organizações. Desta forma, a partir do Projeto MINARE foram consideradas 452 empresas recicladoras, três entidades gestoras, 40 cooperativas, quatro associações de produtores, 16 CRCs e três plataformas digitais específicas para a gestão de REEE.

O cadastro nacional de pessoa jurídica (CNPJ) foi utilizado como código principal para a sistematização e unificação da

busca das empresas atuantes no setor de mineração urbana de REEE no Brasil, bem como para a identificação da atuação das organizações. Para tanto, foram ainda avaliados os códigos referentes à Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAEs primárias e secundárias). Para a validação dos dados das empresas foi realizada a sistematização e atualização da base de dados com dupla checagem, ou seja, validação dos dados do Projeto DATARE e atualização a partir da versão mais recente disponibilizada pela Receita Federal. A seguir são detalhadas as sete categorias analisadas.

2.1.1 Empresas produtoras e importadoras

As associações são entidades civis, sem fins lucrativos, que reúnem e representam empresas nacionais e/ou estrangeiras de um mesmo setor produtivo. As associações defendem os interesses de seus associados e os representam em negociações com o poder público, incluindo em propostas para acordos setoriais. As principais associações do mercado de eletroeletrônicos são:

i. ABINEE - Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica

ii. ELETROS - Associação Nacional de Fabricantes de Produtos Eletroeletrônicos

iii. ABILUMI - Associação Brasileira de Fabricantes e/ou Importadores de Produtos de Iluminação

iv. ABILUX - Associação Brasileira da Indústria de Iluminação

A partir de dados do IBGE (Tabela 2), existem mais de 7 mil empresas atuando no Brasil em áreas de interesse para o setor de produção de equipamentos eletroeletrônicos no Bra-

sil, sob os códigos CNAE 2.0, seção C - indústria de transformação, setor 26 - fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos e setor 27 - fabricação de máquinas, aparelhos e materiais elétricos (Tabela 2). Não foi possível identificar e quantificar as empresas importadoras e distribuidoras dos eletroeletrônicos a partir da base do IBGE.

Tabela 2. Número de empresas por grupo de CNAE atuantes no setor de equipamentos eletroeletrônicos.

Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE 2.0)	Número de empresas
26.1 Fabricação de componentes eletrônicos	988
26.2 Fabricação de equipamentos de informática e periféricos	525
26.3 Fabricação de equipamentos de comunicação	328
26.4 Fabricação de aparelhos de recepção, reprodução, gravação e amplificação de áudio e vídeo	401
26.5 Fabricação de aparelhos e instrumentos de medida, teste e controle; cronômetros e relógios	1.269
26.7 Fabricação de equipamentos e instrumentos ópticos, fotográficos e cinematográficos	104
26.8 Fabricação de mídias virgens, magnéticas e ópticas	7
27.1 Fabricação de geradores, transformadores e motores elétricos	796
27.2 Fabricação de pilhas, baterias e acumuladores elétricos	170
27.4 Fabricação de lâmpadas e outros equipamentos de iluminação	751
27.5 Fabricação de eletrodomésticos	489
27.9 Fabricação de equipamentos e aparelhos elétricos não especificados anteriormente	1.267
TOTAL	7.095

Fonte: IBGE, 2020. <https://sidra.ibge.gov.br/>

Atualmente, 330 dessas empresas encontram-se associadas à Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE), entre indústrias e integradores de sistemas. Dentre estas, 211 (64 %) encontram-se no estado de São Paulo. A Associação Nacional de Fabricantes de Produtos Eletroeletrônicos (ELETROS) possui 33 associadas, enquanto a Associação Brasileira de Fabricantes e Importadores de Produtos de Iluminação (ABILUMI) possui 17 associados e 79 associadas junto a Associação Brasileira da Indústria de Iluminação (ABILUX). Os mecanismos de associação não exigem exclusividade, por isso, uma empresa pode estar vinculada a mais de uma associação para fins de representatividade. Desta forma, os números evidenciam a baixa adesão em relação ao total de empresas estabelecidas no país.

Diante desses dados, observa-se a importância do segmento em termos de consolidação do parque industrial e do potencial de produção de bens acabados e, ao final da vida útil, a geração de resíduos eletroeletrônicos. De acordo com dados do Projeto DATARE, estima-se que em 2018 foram colocados no mercado cerca de 1,8 milhão de toneladas (Mt) de equipamentos eletroeletrônicos. Um volume significativo e superior ao somatório de 13 países da América Latina (Wagner et al., 2022), estimado em 1,7 Mt em 2019. Cabe ressaltar que, de acordo com esta mesma referência, apenas Argentina, Costa Rica e Chile possuem produção interna de equipamentos eletroeletrônicos, o que significa que os demais países são importadores exclusivos.

Apesar do Brasil possuir produção de equipamentos eletroeletrônicos, a importação ainda é expressiva. De acordo

com dados da ABINEE¹, estima-se que o volume de importação seja, em média, sete vezes maior que o volume de produção de eletrônicos no país. Ainda assim, o volume de produção brasileiro supera o total produzido e importado a partir de 13 dos 20 países latino-americanos.

2.1.2 Empresas distribuidoras e comerciantes

O segmento das empresas distribuidoras e comércio se encontra fortemente relacionado com a responsabilidade da logística reversa, conforme o princípio da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, estabelecido a partir da Política Nacional de Resíduos Sólidos.

A Associação Brasileira de Atacadistas e Distribuidores de Produtos Industrializados (ABAD) possui 27 associadas, entre as quais estão associações regionais e sindicatos. A associação abrange diferentes áreas de atuação, não sendo exclusiva para os eletroeletrônicos.

De acordo com a Associação Brasileira da Distribuição de Tecnologia da Informação (ABRADISTI)², o mercado brasileiro de TI (tecnologia da informação) conta com 100 fabricantes, 150 distribuidores, 300 integradores e 15000 revendedores.

O baixo grau de comprometimento do comércio e distribuição na implementação da logística reversa de equipamentos eletroeletrônicos pós-consumo se reflete na baixa adesão das entidades representativas nos principais fóruns de discussão

¹ <http://www.abinee.org.br/abinee/decon/panorama/2022/>

² <https://abradisti.org.br/videos/video-institucional-abradisti-2022/>

e deliberação, refletindo uma evidente demanda por uma atuação mais integrada com os demais setores em atendimento aos requisitos legais e normativos.

2.1.3 Entidades gestoras

Entidades gestoras são aquelas que representam os interesses das empresas que devem realizar a logística reversa dos REEE, conforme determinado pela legislação. As entidades gestoras são pessoas jurídicas, sem fins lucrativos, administradas por fabricantes, importadores, distribuidores ou comerciantes, ou suas entidades representativas. Atualmente encontram-se estabelecidas três entidades gestoras que atuam na gestão de REEE no Brasil, a saber:

I. ABREE (Associação Brasileira de Reciclagem de Eletroeletrônicos e Eletrodomésticos) - gestora da logística reversa de produtos eletroeletrônicos e eletrodomésticos

II. GREEN ELETRON - gestora de logística reversa de eletroeletrônicos

III. RECICLUS - gestora da logística reversa de lâmpadas

No Brasil, a operacionalização da logística reversa de lâmpadas foi segregada dos REEE. A preocupação com o mercúrio presente nas lâmpadas e a ratificação da Convenção de Minamata pelo Brasil em 2013 (Decreto n. 9.470/2018) agilizaram a assinatura do acordo setorial dessa categoria de produtos em 2014, cinco anos antes do acordo setorial dos eletroeletrônicos. No entanto, o acordo setorial das lâmpadas só contempla as lâmpadas que contêm mercúrio, não considerando as lâmpadas LEDs, incandescentes e halógenas.

Previamente à PNRS, a logística reversa obrigatória já estava legalmente determinada para quatro cadeias: resíduos e embalagens de agrotóxicos (Lei nº 9.974/2000); óleo lubrificante usado ou contaminado (Resolução Conama nº 362/2005); pilhas e baterias (Resolução Conama nº 401/2008) e pneus inservíveis (Resolução Conama nº 416/2009). À essa lista a PNRS adicionou as cadeias de lâmpadas e de produtos eletroeletrônicos.

Desta forma, a PNRS determina a obrigatoriedade de sistemas de logística reversa para seis grupos de resíduos: (i) pilhas e baterias, (ii) pneus, (iii) lâmpadas fluorescentes de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista, (iv) óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens, (v) produtos eletroeletrônicos e seus componentes e (vi) resíduos de embalagens de agrotóxicos. Cabe ressaltar que as lâmpadas foram segregadas dos produtos eletroeletrônicos na classificação proposta pela Lei nº 12.305 de 2010, mas foram consideradas neste diagnóstico, juntamente com pilhas e baterias em alinhamento com entendimento legal do setor por outros países.

De acordo com a PNRS, a logística reversa deve ser implementada através de acordo setorial ou contrato entre o poder público e fabricantes, importadores, distribuidores ou comerciantes.

As entidades gestoras, cujo modelo é baseado na estrutura europeia para a gestão de resíduos eletrônicos, foram inicialmente definidas a partir do documento do acordo setorial para a logística reversa de equipamentos eletroeletrônicos, onde foram definidas como:

“pessoa jurídica constituída pelas empresas fabricantes e importadoras e/ou associações de fabricantes e importadores de produtos eletroeletrônicos, que atenda aos requisitos técnicos de gestão, como o objetivo de estruturar, implementar e operacionalizar o sistema de logística reversa [...]”

Com a publicação do Decreto nº 10.240 de 2020, a definição para entidade gestora foi mantida, bem como a definição dos modelos de operacionalização do sistema de logística reversa, a saber: (i) modelo coletivo intermediado pelas entidades gestoras, e (ii) modelo individual sem a participação das entidades gestoras.

As gestoras são responsáveis, juntamente com as empresas, por compor o Grupo de Acompanhamento de Performance (GAP) que, por sua vez, é responsável, dentre outras atribuições, por elaborar e atualizar a lista dos produtos eletroeletrônicos que são objeto da implantação do sistema de logística reversa, conforme Anexo I do decreto.

O Decreto nº 10.240 de 2020 estabeleceu metas progressivas para a implantação dos sistemas de logística reversa dos REEE de 2021 até 2025. As entidades gestoras GREEN ELETRON e ABREE são responsáveis por comprovar o cumprimento das metas de coleta e destinação de acordo com o volume comercializado por seus associados. A entidade gestora RECICLUS, por sua vez, possui acordo setorial específico com o cumprimento de metas até o ano de 2021.

Internacionalmente, a exemplo da Diretiva Europeia WEEE, as categorias de pilhas, baterias e lâmpadas compõem o conjunto de equipamentos eletroeletrônicos. No entanto, no

Brasil, foram estabelecidos instrumentos específicos para a implantação do sistema de logística reversa para as duas categorias: lâmpadas³ e pilhas e baterias⁴.

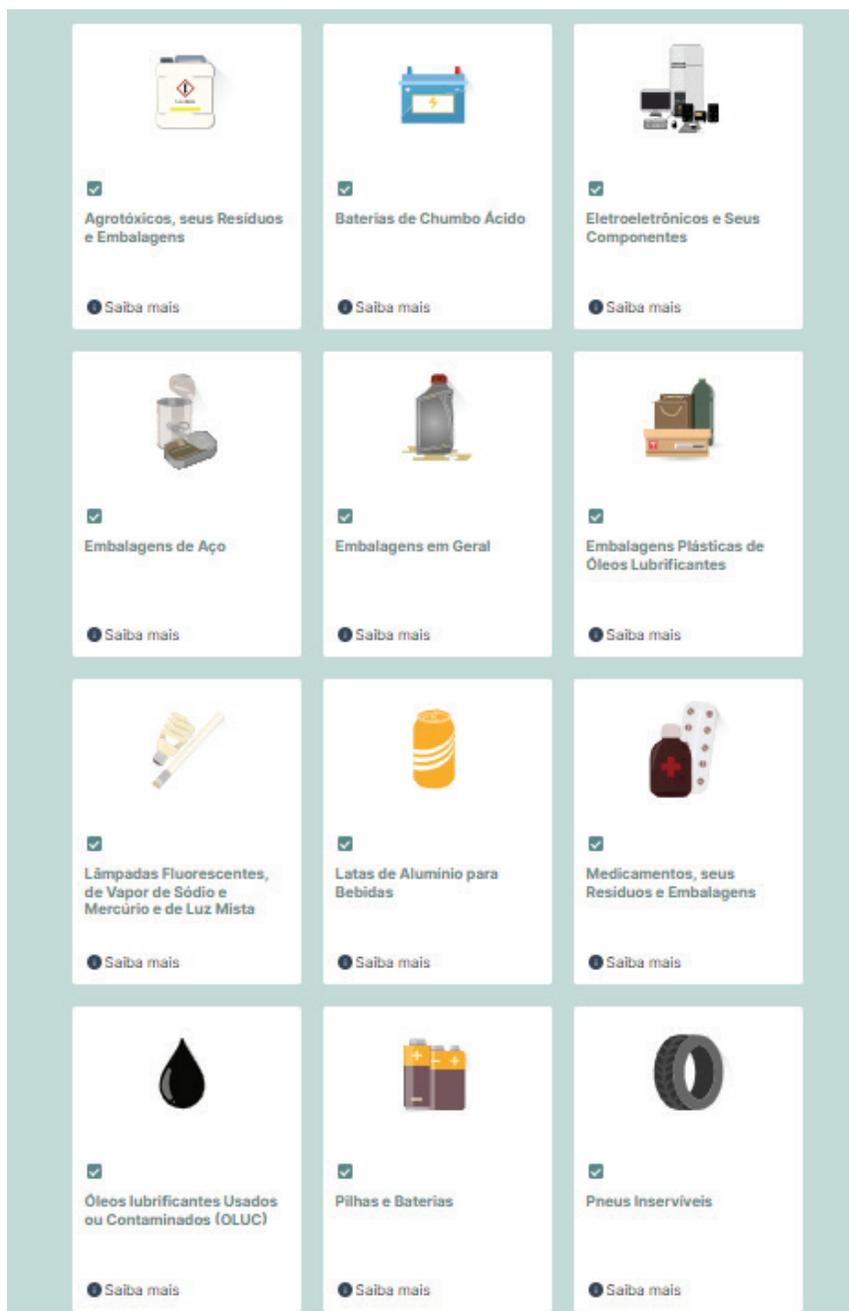
O Sistema Nacional de Informações sobre Resíduos (SINIR+)⁵, disponibilizado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) é responsável pela construção de uma base de dados nacional sobre a implantação de 12 categorias de sistemas de logísticas reversas a partir da atuação de fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, com a declaração da localização de pontos de entrega voluntária, pontos de consolidação e resultados obtidos. Dentre as categorias, encontram-se os eletroeletrônicos e seus componentes, pilhas e baterias e lâmpadas (Figura 2).

3 Disponível em: <https://reciclus.org.br/legislacao/>

4 Disponível em: http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=570

<http://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/IBAMA/IN0008-030912.PDF>

5 Disponível em: <https://sinir.gov.br/sistemas/logistica-reversa/>



GREEN ELETRON

A Green Eletron, Gestora para Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos Nacional, é a entidade fundada em 2016 pela ABINEE com a responsabilidade de operacionalizar a logística reversa de pilhas, baterias e eletrônicos. A gestora possui 100 empresas associadas, entre empresas fabricantes, importadoras e distribuidoras e 6 recicladores homologados para a reciclagem das pilhas e REEE em 2022. As empresas associadas à Green Eletron colocaram no mercado 58.183 toneladas de produtos no ano de 2018, resultando em 582 toneladas como meta para atendimento a 1% do volume colocado no mercado, conforme estabelecido no Decreto nº 10.240/2020, conforme informado pela própria entidade gestora.

Em 2021 a Green Eletron recolheu e encaminhou para destinação ambientalmente adequada 715 toneladas de produtos eletroeletrônicos e 163 toneladas de pilhas inservíveis. Alcançando, portanto, a meta definida pelo decreto por meio da parceria com comerciantes de varejo, shoppings, instituições de ensino, entidades, prefeituras e parques, totalizando mais de mil pontos de entrega voluntária (PEVs) em 13 estados brasileiros.

ABREE

A Associação Brasileira de Reciclagem de Eletroeletrônicos e Eletrodomésticos (ABREE) é uma das entidades gestoras para a logística reversa de produtos eletroeletrônicos e eletrodomésticos no Brasil. Fundada em 29 de junho de 2011, um ano após a promulgação da PNRS, possui 56 associados (representando 188 marcas) entre importadores e fabricantes.

Figura 2 - Tela de cadastro de agente participante do sistema de logística reversa a partir do sistema SINIR+.

Em 2018, ano base para o Decreto nº 10.240/2020, as associadas da ABREE comercializaram 1 milhão de toneladas de equipamentos eletroeletrônicos, desta forma, têm como meta recolher 10.000 toneladas de REEE em 2021 (ano 1). Buscando cumprir as metas do Decreto Federal 10.240/2020, a ABREE instalou 4500 PEVs em parcerias com comércio (varejo) e prefeituras (ecoponto).

Ao final de 2021 a ABREE recolheu 1.250 toneladas de produtos eletroeletrônicos pós consumo, o equivalente a 0,12% do total colocado no mercado em 2012, volume abaixo da meta definida.

Em 2022, após firmar diversas parcerias com cooperativas, recicladoras, comércio, prefeituras e realizar campanhas, a ABREE estima que coletará 10.000 toneladas.

Entre as dificuldades encontradas para cumprir a meta de logística reversa, a ABREE destaca:

- (i) Ausência de metas para comerciantes, o que levaria a uma falta de apoio ao cumprimento das metas de fabricantes e importadoras;
- (i) Baixa colaboração de prefeituras;
- (i) Dificuldades em comprovar origem doméstica do REEE, sobretudo para as cooperativas de catadores;
- (i) Ausência de incentivos para o consumidor cooperar com o sistema de logística reversa.

A Figura 3 a seguir apresenta as metas e os volumes coletados através de logística reversa pelas duas gestoras dos eletroeletrônicos.

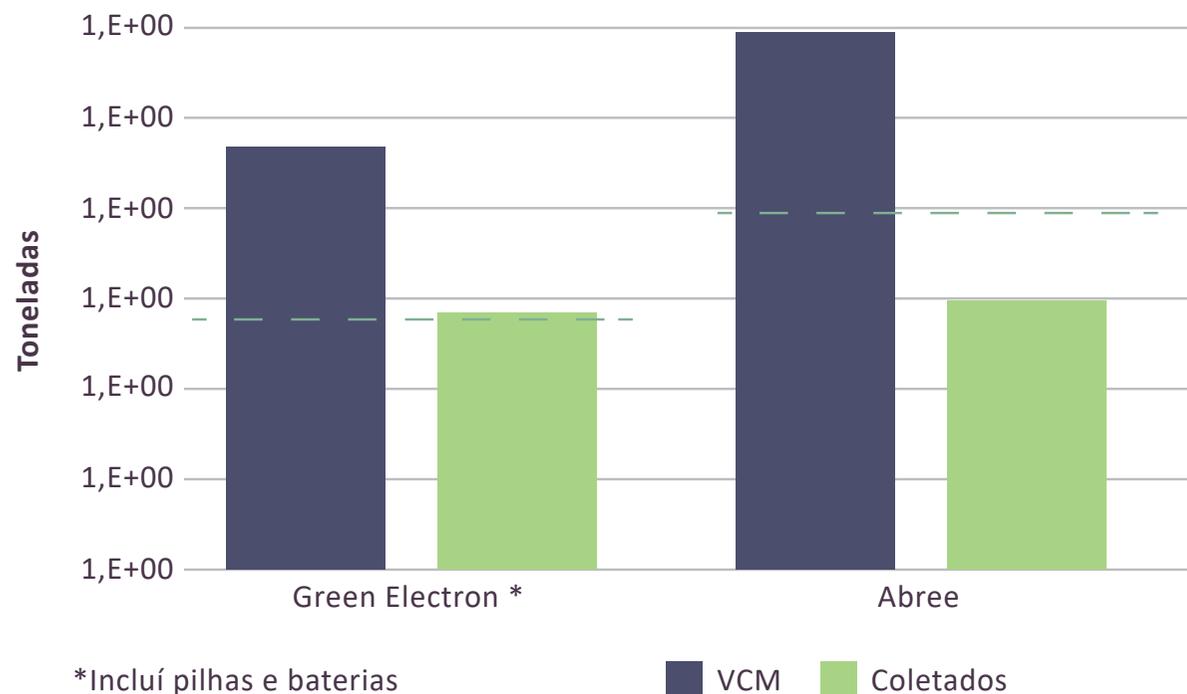


Figura 3- Volume de REEE colocado no mercado no ano base de 2018 e o volume coletado em 2021, para cada gestora.

Apesar das categorias de lâmpadas e pilhas constarem como categorias com sistemas de logística reversa com regulamentação específica, a Green Eletron atua na coleta e destinação de pilhas, inclusive contabilizando as pilhas nos volumes atestados para o cumprimento da meta.

RECICLUS

A Associação Brasileira para a Gestão da Logística Reversa de Produtos de Iluminação (Reciclus) é a única entidade gestora de lâmpadas no Brasil. Desde 2016 operacionalizando a LR de lâmpadas de mercúrio, a Reciclus foi criada pelo Acordo Setorial assinado pelas empresas vinculadas à Associação Brasileira da Indústria da Iluminação (Abilux) à Associação Brasileira de Fabricantes e/ou Importadores de Produtos de Iluminação (Abilumi) e à Confederação Nacional do Comércio (CNC).

O Acordo Setorial de Lâmpadas Fluorescentes de Vapor de Sódio e Mercúrio de Luz Mista, assinado em 27 de novembro de 2014, pelo Ministério do Meio Ambiente e entidades representativas do setor, e publicado no Diário Oficial da União de 12 de março de 2015, levou à criação da Reciclus. No acordo são definidos: (i) os modelos de lâmpadas a serem recolhidas; (ii) as responsabilidades de cada agente da cadeia; (iii) o modelo financeiro de viabilização da LR; (iv) as metas em número de PEVs e em volume a ser coletado e (v) o prazo para revisão do acordo.

Somente empresas que aderem aos termos do Acordo Setorial podem fabricar ou importar lâmpadas no Brasil. Os re-

quisitos para a importação são definidos por meio da Resolução CONMETRO nº 01/2016⁶.

Um ecovalor de R\$ 0,40 é cobrado para cada lâmpada e este valor é destinado ao financiamento do Sistema de Logística Reversa. Comerciantes e distribuidores são responsáveis por implantar pontos de entrega e pontos de consolidação estrategicamente distribuídos pelo país.

O Acordo Setorial definiu metas progressivas e de abrangência nacional. Ao final de cinco anos, em 2021, 60 milhões de lâmpadas deveriam ser coletadas e destinadas de forma adequada; montante correspondente a 20% da quantidade de lâmpadas colocadas no mercado nacional no ano de 2012 (Reciclus, 2019). Após os cinco anos, as partes deveriam estabelecer novas metas por meio de termo aditivo. Este termo ainda não foi celebrado.

Foram recolhidas, até novembro de 2022, 27 milhões de lâmpadas e destinadas, o que equivale a 45% da meta de recolhimento de 60 milhões de lâmpadas estabelecida pelo Acordo Setorial. Os dados de lâmpadas coletadas são atualizados quinzenalmente na página principal do site Reciclus. O Acordo, que está em período de prorrogação, terá em 2023 sua revisão e possível aditamento.

Em 2021, a Reciclus assinou um Termo de Compromisso para a operacionalização do Sistema de Logística Reversa de Lâmpadas pós-consumo no Estado do Paraná. Nesse Termo de Compromisso constam além das lâmpadas que contêm mercúrio, as lâmpadas LED (Diodo Emissor de Luz) e ou-

⁶ <http://www.ctpconsultoria.com.br/pdf/Resolucao-Conmetro-01-de-05-07-2016.pdf>

tros tipos fabricados por novas tecnologias (MPPR, 2021), caso sejam futuramente incorporadas ao Acordo Setorial em um possível aditamento.

Cinco anos após o acordo setorial das lâmpadas e dois anos após o acordo setorial dos eletroeletrônicos, urge analisar quais são os principais gargalos para o sistema de logística reversa. As metas não estão sendo atingidas, apesar de representarem uma fração do total colocado no mercado.

2.1.4 Cooperativas e associações de catadores

Dados do Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos publicado em 2019 indicam que as regiões Sudeste e Sul concentram o maior quantitativo de associações e cooperativas de catadores, enquanto a região Norte lidera com número de associados por cooperativa ou associação. Conforme apresentado na Tabela 3, a média de associados reduziu nos últimos anos avaliados.

Tabela 3 - Quantidade de associações e cooperativas de catadores e quantidade de catadores por macrorregião.

MACRORREGIÃO	QUANTIDADE DE ASSOCIADOS (CA007)	QUANTIDADE DE COOPERATIVAS/ ASSOCIAÇÕES DE CATADORES (CA 006)	NÚMERO MÉDIO DE ASSOCIADOS POR COOPERATIVA/ ASSOCIAÇÃO
CENTRO-OESTE	2.951	131	22,5
NORDESTE	4.667	193	24,2
NORTE	1.661	53	31,3
SUL	12.181	499	20,2
SUDESTE	10.067	604	20,2
TOTAL 2019	31.527	1.480	21,3
TOTAL 2018	27.063	1.232	22,0
TOTAL 2017	28.880	1.153	25,0

Fonte: Adaptado de Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos- 20197

7 <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis/diagnosticos-antiores-do-snis/residuos-solidos-1/2019>

No entanto, os valores diferem de outros estudos recentes. De acordo com dados da Associação Nacional dos Catadores de Materiais Recicláveis (ANCAT)⁸, o Brasil possui uma média de 37 catadores por organização, a maior média está no Centro-Oeste, com 50 colaboradores e a menor média foi identificada na região Nordeste, com média de 27 colaboradores. Estes levantamentos são específicos para a atuação na gestão de materiais recicláveis como plástico, papel, metal e vidro. A atuação na gestão de REEE requer especificidades como área dedicada, capacitação mínima dos colaboradores e procedimento para carga e descarga dos equipamentos pós-consumo. Ainda não há levantamentos exaustivos sobre o número de cooperativas que atuam com o segmento de REEE no Brasil.

Identificar o quantitativo de associados possibilita a realização de estudos prospectivos a respeito da eficiência de processos de coleta, classificação e triagem de materiais. No entanto, poucas associações e cooperativas atuam na gestão de REEE no Brasil.

Foram identificadas no levantamento deste diagnóstico mais de 40 cooperativas de catadores atuando especificamente na gestão de REEE no país. Parte dessas cooperativas atuam a partir de iniciativas de capacitação desenvolvidas por centros de pesquisa ou universidades, com o intuito de proporcionar informações relacionadas ao impacto social, ambiental e econômico da atividade. Dentre as iniciativas de capacitação, pode-se mencionar a série de capacitações realizadas pelo Laboratório de Sustentabilidade (LASSU/USP) e o Projeto LAWEEEDA (UFRJ e UNESP).

⁸ <https://ancat.org.br/anuario-da-reciclagem-2021-retrata-a-realidade-dos-catadores-de-materiais-reciclaveis-e-de-suas-organizacaoes-no-brasil/>

O Instituto GEA, que atuou em cooperação com o LASSU/USP na capacitação de associações e cooperativas para a gestão de REEE, realizou vários projetos (Eco Eletro I e II e Projeto Descarte Legal I e II) em que capacitou cooperativas de catadores de 11 capitais brasileiras para que estas pudessem atender à população, recebendo resíduos eletrônicos e destinando-os de maneira ambientalmente adequada. E foi a principal referência na indicação de cooperativas elencadas para o diagnóstico. Algumas questões relevantes sobre a atuação das cooperativas, segundo a atuação do Instituto GEA, são apresentadas a seguir.

Um dos pontos mais críticos diz respeito ao desestímulo geral ao desenvolvimento de cooperativas. Ele é alimentado pela lacuna de ações governamentais, pela concorrência de empresas e pela atuação incipiente de universidades e centros de pesquisa.

As empresas que atuam no setor, por sua vez, percebem as associações e cooperativas como concorrentes e, em alguns casos, desleais por não possuírem o mesmo grau de comprometimento e adequação legal. Os instrumentos normativos, por sua vez, permitem a atuação das associações e cooperativas sem, no entanto, consolidar rotas de incentivo ou pagamento pelos serviços ambientais prestados.

O processo de segregação de materiais recicláveis pode ser realizado de forma eficiente por técnicas manuais não mecanizadas. No entanto, ainda não se encontram bem difundidos os requisitos de segurança para a atuação dos catadores associados ou cooperados e, por isso, restringir a atuação desses na gestão de REEE ainda tem sido prática mais comum por

parte das esferas governamentais. Assim, os cooperados e associados atuam prioritariamente com o transporte, triagem e estocagem dos REEE.

De acordo com o Instituto GEA, em média, as cooperativas recebem R\$ 0,20 por quilo de material vendido. Isto porque a cooperativa fica com o que o mercado não quer. Para exemplificar a importância da parceria com o governo, uma articulação feita entre a Prefeitura de São José do Rio Preto com a Cooperativa local para coleta dos REEE garantiu, além do armazenamento, a separação fina dos componentes. Como resultado, o material passou a ser vendido, em média, a R\$ 15,00 o quilo.

Foram entrevistadas 10 das 40 cooperativas identificadas. As Cooperativas Coocares (PE), a Cooper Rio Oeste (RJ) e a Coopernova Cotia Recicla (SP) ressaltaram a importância da capacitação. Antes de serem qualificadas pelo Instituto GEA as cooperativas desmontavam os REEE, mesmo sem equipamento de proteção individual (EPI). Todas mudaram seus procedimentos após as capacitações, inclusive entendendo a importância de não desmontarem determinados tipos de REEE. O mesmo pensamento da representante da Cooper Ecológica (RJ), que afirmou ter outra abordagem sobre REEE após ter sido capacitada pelo CETEM. A seguir são pontuados os principais aspectos da gestão de REEE no Brasil a partir da percepção dos entrevistados.

- As cooperativas e a Associação entrevistadas não apresentam alta rotatividade de cooperados/associados. Ao contrário, a maioria dos cooperados ou associados atua desde o estabelecimento da organização.

- Todas questionam a ausência de normas e informações sobre como fazer a separação e caracterização, quais os riscos inerentes ao gerenciamento dos REEE e procedimentos seguros para o manuseio e desmontagem, por exemplo.
- As cooperativas que somente trabalham com REEE fazem menção à falta de visão de gestão das cooperativas, a necessidade de profissionalizar o catador – quanto maior a capacitação, mais distante do ferro velho (organizações ilegais) e a necessidade de parcerias confiáveis.
- Todas as cooperativas mistas (aquelas que processam REEE e outros materiais) vinculam a coleta à educação ambiental. Especialmente em campanhas e na coleta à pessoa física. Duas das cooperativas entrevistadas possuem museus e educadores ambientais.
- Todas reclamam do tempo para armazenar um volume significativo de REEE e atribuem em grande parte à falta de parceria com as Prefeituras. E ainda apontam que empresas surgem como concorrentes desiguais.
- Também afirmam que os componentes que trariam mais recursos para a cooperativa são extraídos pelos fornecedores antes de receberem o material. Especialmente quando vem de grandes geradores, mesmo órgãos públicos, restando às cooperativas o material de baixo valor agregado “que ninguém quer”.
- Não há uma cultura de sensibilização para a gestão dos REEE, a exemplo do que já ocorre com a coleta seletiva. Falta publicidade, faltam campanhas, falta divulgação e entendimento do público sobre a destinação correta do material.

- Indicação de pouco ou nenhum apoio governamental para que as cooperativas atuem nos sistemas de logística reversa. Por exemplo, não há isenção fiscal para as cooperativas (recolhem 20% de INSS e os cooperados pagam imposto de renda).
- A extinção do Dec. 7.405 de 2010, que instituía o Programa Pró Catador e Inclusão social e econômica do catador na PNRS, colocou as cooperativas em um ambiente de competição desigual em relação à atuação das empresas. As empresas possuem mais recursos e até citam práticas desleais, como o uso da atuação de associações e cooperativas para finalidade de recepção e transbordo de material com isenção de tributos.

A Tabela 4 apresenta as características das cooperativas entrevistadas. À exceção da Coopama (RJ), que possui 123 cooperados, a média de colaboradores é 19,6 por unidade. As áreas ocupadas pelas cooperativas e associações de catadores entrevistadas variam entre 200 e 2.000 m².

Tabela 4 - Cooperativas e associação de catadores atuando na resíduos eletroeletrônicos entrevistadas.

COOPERATIVA	CNPJ	CONTATO	ENDEREÇO	ENDEREÇO ELETRÔNICO	DATA CRIAÇÃO	# COLABORADORES
1. PRORECIFE/PE	08.188.106/0001-72	Roberta de S. Pessoa Cardoso	R. Antônio Cardoso da Fonte, 483 – Imbiribeira, Recife/PE. CEP: 51170-620	prorecife@yahoo.com.br	25/07/2006	22
RAZÃO SOCIAL: Cooperativa de Trabalho de Catadores Profissionais do Recife - PRORECIFE		(81) 98571-3503		https://www.facebook.com/prorecife/	TAMANHO: estimado em 800 m2	
2. COOPERCOLÓGICA/RJ	21.313.909/0001-70	Clarisse Aramian	Rua Tocantins, S/N, lote 01 quadra 42 - Jardim Gramacho - Duque de Caxias/ RJ – CEP: 25055-390	coopercologicagramacho@gmail.com	29/10/2014	33
RAZÃO SOCIAL: Cooperativa de Trabalho dos Catadores De Material Reciclável Da Baixada Fluminense Ltda		(21) 970342139 / (21) 3580-8282		https://www.coopercologica.com.br/	TAMANHO: 1.500 m2 – 50 m2 (específico REEE)	
3. CÉU AZUL / E-LIXO	10.607.231/0001-11	Luiz Claudio Pinho	Rua Isidro Rocha, 70, Vigário Geral, Rio de Janeiro/RJ – CEP: 21241-180		23/01/2009	18
RAZÃO SOCIAL: Cooperativa de Trabalho dos Catadores de Lixo CEU AZUL		(21) 98390-0666		https://www.e-lixo-rj.com.br/	TAMANHO: 600 m2 (somente atuam com REEE)	
4. COOPAMA/RJ	06.698.644/0001-81	Luiz Carlos Fernades	Rua Miguel Ângelo, 385, Maria da Graça - Rio de Janeiro/RJ – CEP: 20785-901	luicoop@gmail.com	01/07/2004	123
RAZÃO SOCIAL: Cooperativa Popular Amigos do Meio Ambiente LTDA		(21) 99727-6102		https://www.recicloteca.org.br/cooperativa/coopama-conheca-uma-cooperativa-carioca/	TAMANHO: > 1.400 m2 e 800 m2 para REEE	
5. COOMUBI/RJ	10.364.302/0001-00	Cybele	Av. Coelho da Rocha, 2500 - Rio de Janeiro/RJ – CEP: 26572-481		21/07/2008	16
RAZÃO SOCIAL: Cooperativa de Trabalho Popular de Reciclagem e Serviços Mulheres da Baixada LTDA		(21) 96896-4168			TAMANHO: 470 m2 não específico REEE	

COOPERATIVA	CNPJ	CONTATO	ENDEREÇO	ENDEREÇO ELETRÔNICO	DATA CRIAÇÃO	# FUNCIONÁRIOS
6. COOPERTEC/RS	17.681.134/0001-18	Rogério Vieira	Rua Piauí 292, Bairro Niterói, Canoas/RS – CEP: 92130-240	coopertecreciclagem@gmail.com	28/02/2013	13
RAZÃO SOCIAL: Cooperativa de Trabalho de Reciclagem Tecnológica – COOPERTEC		(51) 98416-9301		https://www.coopertecrs.com.br/inicio	TAMANHO: 200 m2 + 100 m2 área de manobra	
7. COOPER RIO OESTE/RJ	11.141.143/0001-30	Sarita Cavalcante Fernandes	Estrada do Magarça, 1, Campo Grande/RJ – CEP: 23035-380	sarita_cavalcante@hotmail.com	09/09/2009	17
RAZÃO SOCIAL: Cooperativa de Trabalho e Reciclagem de Materiais Reaproveitáveis da Zona Oeste LTDA		(21) 96475-2405		https://www.facebook.com/COOPERRIO/	TAMANHO: 200 m2 (total) e 60 m2 específico para REEE	
8. COOCARES/PE	10.689.579/0001-03	Lindaci	Avenida Governador Nilo Coelho, Distrito Industrial Abreu e Lima/PE. CEP: 53.520-810	coocares@gmail.com	10/03/2009	19
RAZÃO SOCIAL: Cooperativa de Trabalho dos Catadores de Materiais Recicláveis Erick Soares – COOCARES		(81) 98610-9570			TAMANHO: 2000 m2 - espaço alugado para todos os resíduos	

COOPERATIVA	CNPJ	CONTATO	ENDEREÇO	ENDEREÇO ELETRÔNICO	DATA CRIAÇÃO	# FUNCIONÁRIOS
9. COOPERNOVA COTIA RECICLA/SP	10.313.158/ 0001-75	Marly Monteiro Andrade dos Santos	(Unidade 1) Rua Nova Pátria, 120 – Jd. Nova Cotia -Cotia/SP - CEP:06700- 538 (Unidade 2 – entrega) Estr. Manoel Lages do Chão, 590 - Lajeado, Jd Caiapiá, Cotia - SP, 06705-050	coopernovacotiarecicla@hotmail.com	04/08/2008	48
RAZÃO SOCIAL: Cooperativa de Trabalho e Produção de Coleta e Reciclagem		(11) 97465-7142 e (11) 4243-1810		https://www.coopernovacotiarecicla.com/	TAMANHO: 500 m2 total e 50 m2 para REEE	
10. COOCARES/ MG	07.509.685/ 0001-45	Regina	Av: Arlindo Figueiredo Nº1781, Passos/MG – CEP: 37.900- 528 (REEE fica aqui) e Rua Alpinopolis, 115 – Canjeranus, Passos/ MG (demais resíduos)	coocarescoletaseletiva@gmail.com	21/02/2002	10
RAZÃO SOCIAL: Cooperativa de Trabalho e Produção de Coleta e Reciclagem (Associação)		(35) 99713-5196		https://www.facebook.com/coocarescoletaseletiva/	TAMANHO: 60 m2	

2.1.5 Centro de condicionamento de computadores (CRC)

Os Centros de Recondicionamento de Computadores (CRC) realizam o recondicionamento de computadores e equipamentos de informática, oferecem cursos e oficinas para formação profissionalizante de jovens em situação de vulnerabilidade social e repassam os equipamentos de informática recondicionados para os Pontos de Inclusão Digital (PIDs), tais como telecentros, escolas e bibliotecas públicas. As ações dos CRCs, portanto, são desempenhadas a partir da seguinte estrutura⁹:

- i.** a atividade de formação educacional e profissionalizante, que é desenvolvida pelos seus educadores sociais, voltada às tecnologias da informação e comunicação, estimulando a inovação, o empreendedorismo e o desenvolvimento local, proporcionando oportunidades de trabalho e ressocialização da comunidade que atuará nas atividades dos CRC;
- ii.** o recondicionamento de computadores e equipamentos de informática, que consiste na realização de limpeza, testes, troca dos componentes quando necessário e instalação de programas e aplicativos, em consonância com padrões estabelecidos de desempenho;
- iii.** o tratamento correto dos resíduos eletroeletrônicos, que contempla a separação por propriedade e a destinação desses resíduos para reciclagem ou descarte, em sinergia com a Política Nacional de Resíduos Sólidos e demais diretrizes do Ministério do Meio Ambiente.

⁹ <https://www.gov.br/mcom/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/computadores-para-inclusao-1>

Os órgãos da administração pública federal interessados na destinação dos equipamentos devem encaminhar a mensagem para o Departamento de Projetos de Infraestrutura de Telecomunicações e Banda Larga, pelo e-mail *desfazimento.setel@mcom.gov.br*, informando a relação dos equipamentos que serão doados e a de interesse na utilização desses bens para o Programa Computadores para Inclusão (não é necessário o envio físico, apenas por meio eletrônico).

O Programa Computadores para Inclusão é uma ação do Governo Federal, executada pelo Ministério das Comunicações (MCOM), para implementação de Políticas de Inclusão Digital, por meio de parcerias com Organizações da Sociedade Civil (OSC). Atualmente, a ação é executada pelo Ministério das Comunicações (MCOM) e o programa tem como objetivo a implementação de Políticas de Inclusão Digital, por meio de parcerias com Organizações da Sociedade Civil (OSC) e de outras esferas de governo.

Os 13 CRC's em operação estão distribuídos da seguinte forma:

Região Norte - 1 no estado do Amazonas na região Norte.

Região Nordeste - 2 no Ceará, 2 em Pernambuco e 1 no Piauí.

Região Sudeste - 1 em Minas Gerais, 1 em São Paulo e 1 no Rio de Janeiro, porém o CRC do RJ é uma filial de SP.

Região Sul - 2 no Rio Grande do Sul.

Região Centro-Oeste - 1 no Distrito Federal com as respectivas filiais, 1 em Mato Grosso e 1 em Goiás, além da filial citada Goiás possui mais 1 CRC, e por fim 1 em Mato Grosso do Sul.

A partir da iniciativa, são estabelecidos por meio de editais ou TED, espaços físicos adaptados para o condicionamento de equipamentos eletroeletrônicos, essencialmente Desktops e Notebooks para o tratamento de resíduos eletroeletrônicos e para a realização de cursos e oficinas.

A criação dos CRC's se deu por meio da necessidade de recondicionar os computadores pós-consumo oriundos do Governo Federal tendo em vista o seu uso social e a preocupação com a destinação ambientalmente adequada dos resíduos gerados com a partir do condicionamento. Sendo assim, os CRC's são desde a sua criação polos concentradores de REEE.

A seguir, são listados os 13 CRCs atualmente vinculados ao MCOM (Tabela 5)

Tabela 5 - Rede de CRCs atualmente vinculada ao MCom.

	NOME	LOCAL	TELEFONE	E-MAIL
1	Prodabel	Belo Horizonte – MG	(31) 3277-6259	crc.bhdigital@pbh.gov.br
2	CRC – Idear CE	Maracanaú – CE	(85) 3014-1717	paulogermano@idear.org.br
3	CRC – INAC SP	São Paulo – SP Maricá – RJ	(11) 3105-6453 (11) 4327-2428	inac@inac.org.br
4	CRC Metarreciclagem	Gama – DF	(61) 3559-1111 (61) 98423-4490	contatos@programandoofuturo.org.br
5	CRC – Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF PE	Petrolina – PE	(87) 2101-6768	marcia.moreira@univasf.edu.br
6	CRC – Universidade Federal do Rio Grande do Sul	Porto Alegre – RS	(51) 3308-4263	parque@ufrgs.br / gregory@ufrgs.br
7	CRC – Instituto Federal do Mato Grosso do Sul – IFMS Campus Dourados	Dourados – MS	(67) 3410-8500 (67) 98203-0137	vandro.falleiros@ifms.edu.br
8	Instituto Brasileiro Amigos do V	Formosa – GO	(61) 99815-8208	ibav.instituto@gmail.com
9	Instituto de Inovação e Economia Circular	Recife – PE	(81) 99521-8500	contato@crcrecife.org
10	Instituto Descarte Correto – CRC Manaus	Manaus – MA	(92) 99132-7981	contato@institutodescartecorreto.org
11	Instituto de Assistência e Proteção Social – IAPS – CRC Fortaleza	Fortaleza – CE	(85) 3279-1073	crcfortaleza@iaps.org.br
12	Fundação de Proteção ao Meio Ambiente e Ecoturismo do Estado do Piauí – FUNPAPI	Teresina – PI	(86) 3081-3803	funpapi@hotmail.com
13	Núcleo Comunitário Cultural de Belém Novo – CRC NCC Belém	Porto Alegre – RS	(51) 3264-0913 (51) 98165-0819	

Fonte: Computadores para a Inclusão¹⁰

¹⁰ <https://www.gov.br/mcom/pt-br/acao-a-informacao/acoes-e-programas/computadores-para-inclusao-1>

“Programando o futuro”, por exemplo, é uma Organização Não Governamental (ONG) responsável pela gestão de unidades de CRCs¹¹. Parceira da Green Eletron, a instituição possui três unidades de CRCs implantadas no DF, Mato Grosso e Goiás.

A partir do Decreto nº 10.340 de 2020 foram estabelecidos os requisitos para o desfazimento de bens a partir de órgãos federais. Conforme o Artigo 4º deste decreto, ficou estabelecido que:

Art. 14. Os equipamentos, as peças e os componentes de tecnologia da informação e comunicação classificados como ociosos, recuperáveis ou antieconômicos poderão ser doados:

- i. a organizações da sociedade civil de interesse público e a organizações da sociedade civil que participem do programa de inclusão digital do Governo federal; ou
- ii. as organizações da sociedade civil que comprovarem dedicação à promoção gratuita da educação e da inclusão digital (NR).

De acordo com o MCOM no período compreendido entre novembro de 2010 e outubro de 2022 foram repassados 28.499 computadores dos CRCs para 2.078 PID's, distribuídos em 676 municípios. Como pode ser observado na Figura 7, somente no ano de 2018 foram transferidos 5.300 computadores para 345 PID's distribuídos em 109 municípios de 19 Unidades Federativas, com destaque para os estados de Goiânia que realizou a transferência de 963 equipamentos para

53 PIDS em 16 municípios, São Paulo que recebeu 819 computadores em 31 PID's em 9 municípios e Minas Gerais que recebeu 766 equipamentos para 72 PID's em 12 municípios.

Os CRC's assumem um papel importante no fomento da inclusão digital no Brasil a partir da administração pública federal, pois são eles que têm a atribuição de fornecer os computadores reconicionados para PID's. Atualmente, a entrada dos computadores nos CRC's é feita por meio dos requisitos estabelecidos no Decreto Federal 10.340 de 2020.

Como demonstrado na Figura 4, os CRCs se apresentam como polos de distribuição geográfica das doações. Mas se analisarmos no sentido inverso, sob o ponto de vista do desfazimento (entrada de computadores) eles também atuam como pólos concentradores, pois foram projetados para isso de acordo com a natureza de sua concepção.

¹¹ <https://antigo.mctic.gov.br/mctic/export/sites/institucional/institucional/arquivos/914BRZ5012/centrosRecondicionamentoComputadores/Produto-01.pdf>

A Tabela 6 apresenta dos dados referentes ao levantamento de informações em relação as entrevistas realizadas pelo Projeto MINARE a 6 CRC's.

Os CRCs entrevistados informam que, em média, um em cada cinco computadores recebidos é doado. Ou seja, cerca de 80% não estariam aptos para procedimentos de recuperação e inclusão digital e, por isso, seguem para a destinação adequada. Essa proporção indica que o potencial de reuso, segundo os princípios da circularidade, é aplicado a apenas 20% do material recebido, ampliando sua vida útil e possibilitando a inclusão digital. Por outro lado, 80% do material recebido nos CRCs consiste em fonte importante de matéria-prima secundária da mineração urbana de REEE.

Desta forma, a rastreabilidade dos equipamentos de forma a se identificar o fluxo de materiais a partir dos CRCs consiste em importante fonte de informações sobre o potencial de recuperação de materiais a partir de equipamentos pós-consumo da administração pública federal.

Outro aspecto relevante é o potencial de consolidação de volumes oriundos do consumo doméstico ou industrial a partir dos CRCs, ampliando a eficiência logística e com maior potencial de rastreabilidade em relação às rotas usuais de coleta, triagem e desmontagem. Destacando-se ainda a possibilidade de qualificação de mão de obra especializada com a finalidade de redução do risco no manuseio de REEE, contribuindo para mitigar impactos a partir de um dos aspectos críticos da gestão de REEE.

Tabela 6 - Dados das entrevistas realizadas com CRC's.

CRC	OBSERVAÇÃO
Idear – CE	1º contato telefônico ocorreu em 13/10/2022. 2º contato telefônico em 19/10/2022, entrevista realizada.
INAC – SP	1º contato telefônico ocorreu em 13/10/2022. Entrevista realizada.
Metarreciclagem – DF	1º contato telefônico ocorreu em 13/10/2022. Entrevista realizada.
UNIVASF – PE	1º contato telefônico ocorreu em 13/10/2022. 2º contato telefônico em 19/10/2022, formulário enviado na mesma data conforme solicitação. Até a presente data (25/10/2022) o formulário não foi devolvido.
UFRGS	1º contato telefônico ocorreu em 13/10/2022. Entrevista realizada.
IAPS – CE	1º contato telefônico ocorreu em 13/10/2022. 2º contato telefônico em 19/10/2022, entrevista realizada

Fonte: Elaboração própria, 2022.

2.1.6 Centros universitários e laboratórios

Diferentes grupos acadêmicos têm atuado em pesquisas voltadas para a reciclagem e recuperação de matéria-prima secundária a partir de REEE. A seguir apresentamos três laboratórios com significativa atuação na área.

CEDIR – Centro de Descarte e Reúso de Resíduos de Informática, inaugurado em 2009, tem capacidade para recebimento, depósito, separação e destinação de 500 a mil unidades de equipamentos eletrônicos mensalmente. Já atingiu, antes da pandemia, uma média mensal de 10 toneladas. Localizado no Campus universitário da Universidade de São Paulo (USP), faz parte da Superintendência de Gestão Ambiental da Prefeitura Universitária (Carvalho e Xavier, 2014).

Av. Prof. Lúcio Martins Rodrigues, Tv. 4, 396 - Butantã, São Paulo - SP, 05508-020 – Tel. (11) 3091-8238 – Tel. (11) 3091-8237/8238 - cedir@usp.br

LAREX - O Laboratório de Reciclagem, Tratamento de Resíduos e Extração (LAREX) é um centro de pesquisa do Departamento de Engenharia Química da Escola Politécnica (POLI-USP). A equipe do LAREX desenvolve pesquisas e estudos nas áreas de reciclagem, tratamento de resíduos sólidos e efluentes e processos de extração de metais. Muitos projetos são desenvolvidos em parceria ou com financiamento de empresas, produzindo conhecimento para inovação e para melhoria de processos industriais.

Edifício Semi Industrial - R. do Lago, 250 - Bloco A - 2º Andar - Butantã, São Paulo - SP, 05508-080 - Tel. (11) 3091-9120 - tecnogreen@usp.br

LACOR - O Laboratório de Corrosão, Proteção e Reciclagem de Materiais (LACOR) faz parte da Escola de Química e Alimentos da UFRGS. Entre as principais linhas de pesquisa do LACOR está a Caracterização e Reciclagem de Materiais (Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos – REEE; Baterias; Resíduos da Indústria metalmeccânica)

Av. Bento Gonçalves, 9500, setor IV, prédio 43426 salas 101 a 110 - Agronomia, Porto Alegre - RS, 91509-900 - Tel. (51) 3308-9427 - lacor@ufrgs.br

A seguir é apresentada uma lista não exaustiva de laboratórios brasileiros que possuem estrutura para técnicas de caracterização e extração de recursos minerais:

Rede LAMIN (Rede de Laboratórios de Análises Minerai)s – São laboratórios da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), uma empresa governamental, vinculada ao Ministério de Minas e Energia e que tem as atribuições de Serviço Geológico do Brasil.

lamin@sgb.gov.br

Américo Caiado Pinto – americo.pinto@sgb.gov.br

Endereço: Av. Pasteur, 404 - Urca - Cep.: 22290-255

Tel.: (21) 2546-0448

Francisco Nascimento Lopes – francisco.lopes@sgb.gov.br

Endereço: Rua Costa, 55 - Cerqueira César - Cep.: 01304-010

Tel.: (11) 3775-5115

Laboratório de Caracterização Mineralógica e Microquímica de minérios – CDTN

Francisco Javier Rios – javier@cdtn.br – Tel.: +55 31 34399654

Laboratório de Caracterização Mineralógica, Petrográfica e Metalogênese – CDTN

Francisco Javier Rios – javier@cdtn.br – Tel.: +55 31 34399654

REPO – Laboratório de Análises Mineraias do Serviço Geológico do Brasil – SGB / CPRM

UMICORE – Empresa privada especializada em técnicas de caracterização, extração e análise mineralógicas.

LAMIL – Especialidades mineraias, foco em sustentabilidade; Fazenda Terra do Feijão. Alto São Luiz - Pará de Minas – MG - Cep: 35660-970. Tel. (37) 3231-8700 / (37) 3232-9000

LCT - Laboratório de Caracterização Tecnológica (LCT) - PMI | USP

Butantã, São Paulo - SP, 05508-030 – Tel. (11) 3091-5151

LTM - Laboratório de Tecnologia Mineral - Coppe/UFRJ Cidade Universitária, Centro de Tecnologia, - Bloco F, Sala 214 - Ilha do Fundão, Rio de Janeiro - RJ, 21941-972. Tel. (21) 3938-1544

2.1.7 Plataformas digitais

A tecnologia é capaz de conectar mundialmente usuários e empresas de diversos setores. Dentro desse ambiente tecnológico encontram-se as plataformas digitais, um modelo de negócio centralizado em facilitar o relacionamento entre as empresas e os indivíduos. Os mecanismos digitais impulsionam e potencializam as conexões, oferecendo benefícios de uma estrutura tecnológica capaz de proporcionar atrativos tanto para os clientes quanto para as empresas.

As Plataformas Digitais atuam em setores diversificados, dentre eles: educação, empreendedorismo, bancário, transporte, turismo, alimentício e na logística reversa.

A Circular Brain, a Polen e o SINIR são plataformas digitais pioneiras no segmento de Economia Circular /Logística Reversa e são contextualizadas a seguir.

CIRCULAR BRAIN

A Startup Circula Brain é uma plataforma digital que foi idealizada para atuar na gestão e no gerenciamento de resíduos eletroeletrônicos. Os fundadores da Circular Brain identificaram diversas lacunas que necessitavam de propostas e soluções, de forma a conectar a tecnologia à economia circular. Dentro desse cenário, a Circular Brain se apresenta como uma plataforma de gestão de ciclo de vida e rastreabilidade de eletroeletrônicos, oferecendo soluções como Logística Reversa, Trade In (recondicionamento e reuso de computadores) e Think Circular.

Um dos maiores desafios do setor, segundo a Circular Brain, é a captação e homogeneização dos dados. A rastreabilidade é um ponto com dificuldades a serem superadas, assim como a conexão entre os agentes da cadeia (recicladores, fabricantes e importadores, além de cooperativas). Por isso, propõe que a plataforma seja descentralizada entre os agentes, embora conectadas em um sistema único, indicando os seguintes benefícios:

- Reciclador: O Software de gestão da Circular Brain permitirá ao reciclador um controle do cadastro de clientes/ empresas, controle das documentações ambientais, gestão de PEV's, monitoramento de campanhas em andamento, controle logístico (recebimento, processamento, estoque e destinação).
- Fabricante: a plataforma da Circular Brain oferecerá o perfil de solicitação e coleta, gestão de PEV's e a logística reversa.

A empresa também aponta para a redução do custo operacional, melhoria da receita e volume do reciclador da pela integração dos agentes em um “efeito rede”, ou seja, quanto mais distribuída for a rede de recicladores, menor será o custo para o fabricante. Ao aumentar a quantidade de fabricantes que aderem à plataforma da Circular Brain, mais consumidores engajados vão compor o sistema e por consequência, maior volume será gerado para o reciclador, fazendo com que o sistema se retroalimente. A plataforma permite que os recicladores se beneficiem do efeito escala por estarem em rede, podendo ter melhores condições de negociação.

A Circular Brain atua com diferentes estratégias de divulgação das atividades exercidas, promovendo campanhas de

coleta e educação ambiental de forma a direcionar volume para os recicladores da rede.

Através da plataforma é possível traçar um plano de logística reversa que permita: identificar quais produtos estão sendo devolvidos pela logística reversa, de onde estão vindo esses produtos, quanto tempo está durando esse produto, identificação de locais para devolução do produto através de um selo (QR code).

Adicionalmente, a Circular Brain é certificada como mecanismo de comprovação de atendimento às normas pela norma ABNT NBR 16.156:2013. Fabricantes, recicladores e cooperativas que utilizam a plataforma possuem documentos comprobatórios disponíveis na plataforma. Os procedimentos documentados da norma como rastreabilidade, balanço de massa, segurança da informação compõem os requisitos desenvolvidos dentro da plataforma para comprovação.

A Circular Brain emite, certifica e custodia os créditos de logística reversa. Apesar de ainda não atuar com crédito de carbono, pretende atrelar, a cada volume coletado, a quantidade de carbono, através de fórmulas de conversão baseado no balanço de massa de cada produto, o que permitirá um relatório do balanço de massa real e não apenas uma estimativa. Assim, o “crédito de reciclagem” acompanharia um valor de carbono. A Circular Brain vislumbra como oportunidade em relação a esse desafio, trazer uma clareza de mercado, filtrando e beneficiando através da remuneração de serviços ambientais quem conduz os processos de maneira correta.

Como objetivos de curto prazo, a Circular Brain busca negociar contratos de logística reversa com as fabricantes, seja

através da entidade gestora ou individuais, assim como trazer recicladores para a rede. A médio prazo, a Circular Brain busca oferecer soluções para outros tipos de resíduos além dos resíduos eletroeletrônicos e criar um Marketplace permitindo que os recicladores possam fazer negócios e ações entre eles, conectando-os como compradores de commodities. No longo prazo, o objetivo seria expandir para América Latina, visto que diversos clientes que do Brasil apresentam as mesmas necessidades em outros países da América Latina.

BR POLEN

A Startup Polen foi criada em 2017 com objetivo de conectar empresas que geram resíduos com empresas que usam esses resíduos como matéria-prima, visando transformar o custo de destinação em receita e os resíduos em matéria-prima de origem sustentável e de baixo custo.

A Polen atuou com resíduos eletroeletrônicos, no entanto em 2019 passou por transformações, assumindo novas frentes de trabalho e expandindo sua atuação. Foi nesse ano que ocorreu o lançamento do Selo Polen, uma certificação ambiental que garante a compensação do impacto das embalagens (uma solução para logística reversa de embalagens), e o Recicla Rio, projeto de implementação e gestão de Pontos de Entrega Voluntária na orla carioca.

Segundo a Polen, as mudanças que ocorreram levaram a um redirecionamento de foco, a plataforma almejava ser mais que uma plataforma de compra e venda de resíduos. Com um crescimento significativo, passando de 170 empresas parcei-

ras para mais de 2000 em 2020, distribuídas pelo Brasil e em 9 países, a Polen focou no segmento de embalagens. A parceria com mais de 1,2 mil indústrias e mais de 200 cooperativas no âmbito nacional resultou em mais de 60 mil embalagens enviadas para reciclagem.

Apesar de não atuar mais no segmento de gestão de REEE, por possibilitar a rastreabilidade e certificação de outros materiais, configura como importante ente na mineração urbana.

SINIR+

O Ministério do Meio Ambiente (MMA) é a instância responsável pela coordenação e articulação do Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos Sólidos (SINIR), em conformidade com os requisitos da PNRS. A organização e manutenção da plataforma digital estão sob a responsabilidade dos governos municipais, estaduais e do Distrito Federal. A prestação de informações é feita com periodicidade anual e tem como objetivo o fornecimento de informações qualitativas e quantitativas sobre a gestão de resíduos sólidos no país, bem como a verificação do atendimento às metas estabelecidas em acordos setoriais ou documentos regulamentadores.

A plataforma SINIR+, por sua vez, configura como um conjunto de sistemas informatizados composta por diferentes sistemas (Tabela 7).

Tabela 7 - Principais sistemas que compõem a plataforma digital SINIR+.

SISTEMA	ANO DE INÍCIO	CARACTERÍSTICAS	DOCUMENTO
MTR - Manifesto de Transporte de Resíduos	2020	Ferramenta online, auto declaratório, válido no território nacional, emitido pelo Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos Sólidos - SINIR.	Portaria nº 280, de 29 de junho de 2020
Inventário Nacional de Resíduos Sólidos	2021	Conjunto de informações sobre a geração, tipologia, armazenamento e destinação final dos resíduos sólidos gerados pelas indústrias do país. Deve ser enviado anualmente para complementar as informações declaradas no MTR do ano anterior.	Portaria nº 280, de 29 de junho de 2020 Resolução CONAMA nº 313, de 29 de outubro de 2002.
Inventário Nacional de PCBs	2021	Conjunto de declarações realizadas pelas empresas detentoras de equipamentos elétricos que contenham concentrações maiores que 50mg/kg e outros resíduos PCBs e estoques. Devem contemplar informações sobre as destinações já realizadas e a realizar, incluindo as quantidades identificadas, e respectivas datas e destinações finais.	Lei nº 14.250/2021
Inventário Estados, Distrito Federal e Municípios	2019	Informações enviadas anualmente as SINIR por Estados, Distrito Federal e os Municípios sobre os resíduos sólidos sob sua esfera de competência.	Portaria nº 412, de 25 de junho de 2019.

A plataforma representa um importante instrumento de suporte à elaboração e acompanhamento de políticas públicas e a melhoria conta com a contribuição direta dos usuários com sugestão de melhorias.

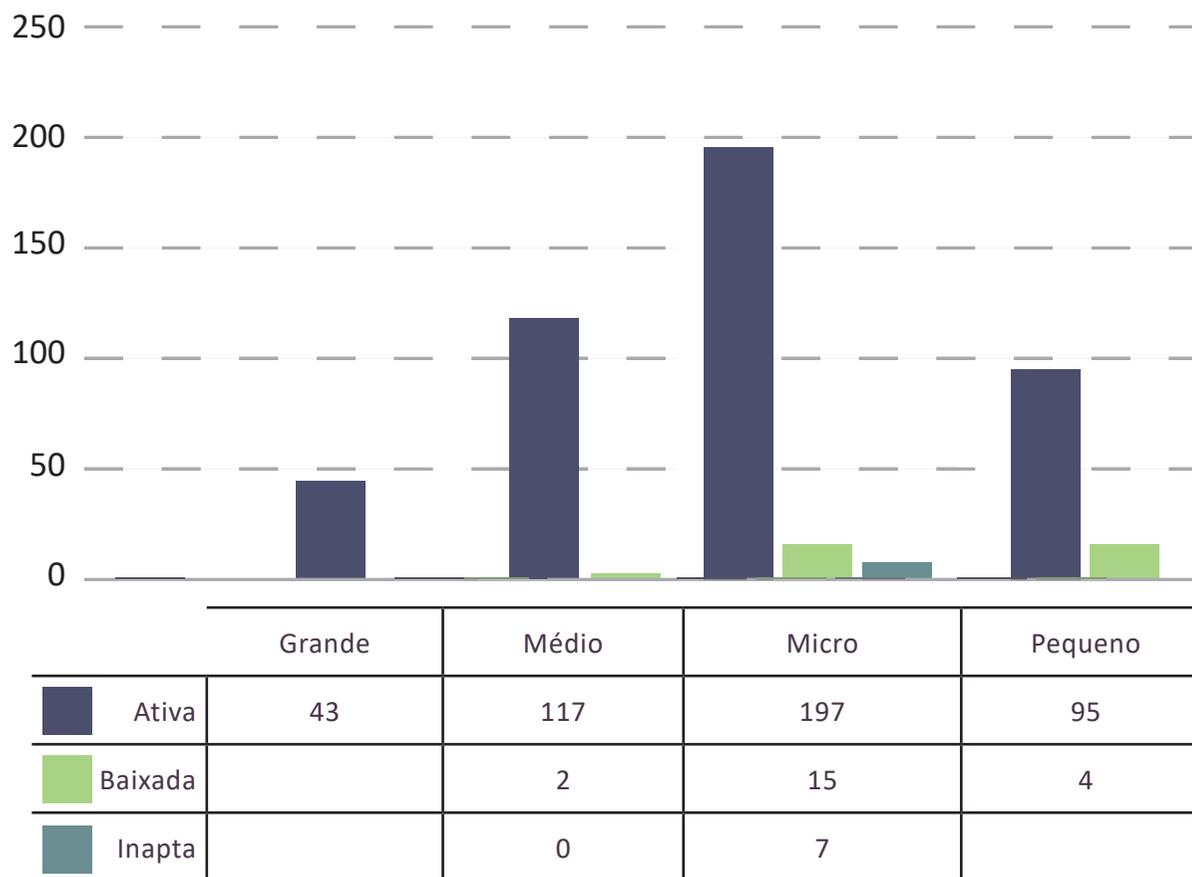
A primeira versão do SINIR foi lançada em 2019 a partir da cooperação com a Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos e Efluentes (Abetre). O Sistema de Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR) compõe o sistema de rastreabilidade dos resíduos, juntamente com o Certificado de Destinação Final (CDF).

2.1.8 Empresas recicladoras

Com a finalidade de identificação das empresas recicladoras, o levantamento de dados utilizou a base de dados publicada pelo Projeto DATARE. A partir deste levantamento as informações foram verificadas, atualizadas e a base foi complementada. Novas empresas foram inseridas a partir da indicação de empresas já identificadas ou busca pela prestação de serviços relacionados à gestão de REEE.

Foram avaliados indicadores como a validade dos CNPJs, compatibilidade da atuação, a distribuição das empresas em razão do porte, capital social e distribuição geográfica. Desta forma, de 478 empresas identificadas como atuantes na gestão de REEE no Brasil, das quais 452 foram qualificadas como CNPJs ativos e correspondentes à atuação na gestão de REEE, conforme base de dados da Receita Federal (Figura 5) e os respectivos percentuais de empresas por estado brasileiro (Figura 6).

Figura 5 - Situação cadastral de CNPJs.



Fonte: Página de emissão de comprovante de inscrição e de situação cadastral de pessoa jurídica. Disponível em: <https://servicos.receita.fazenda.gov.br/>

Figura 6 - Percentual de empresas recicladoras por UF.

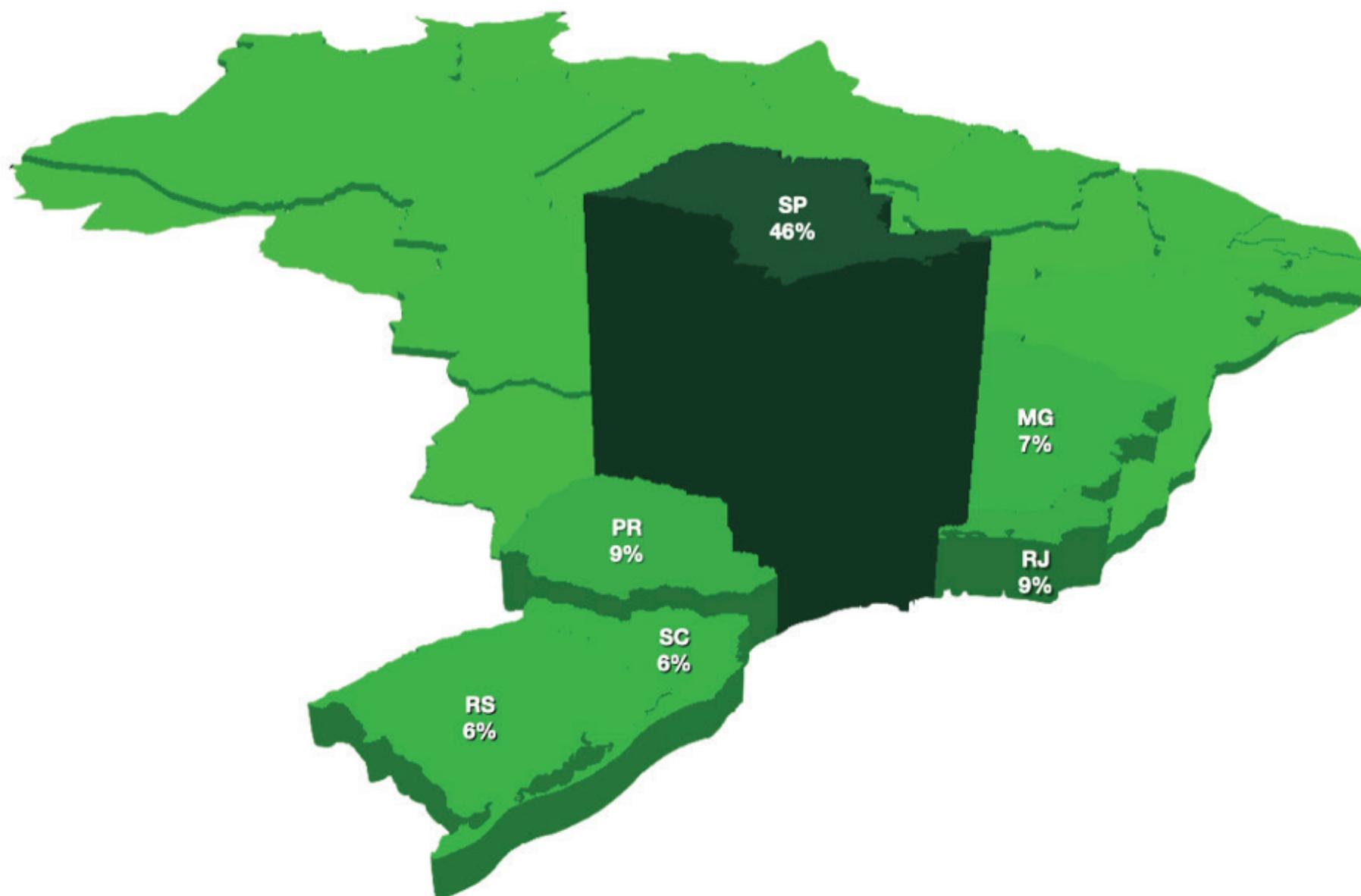


Figura 7 - Geolocalização das empresas recicladoras de REEE no Brasil.

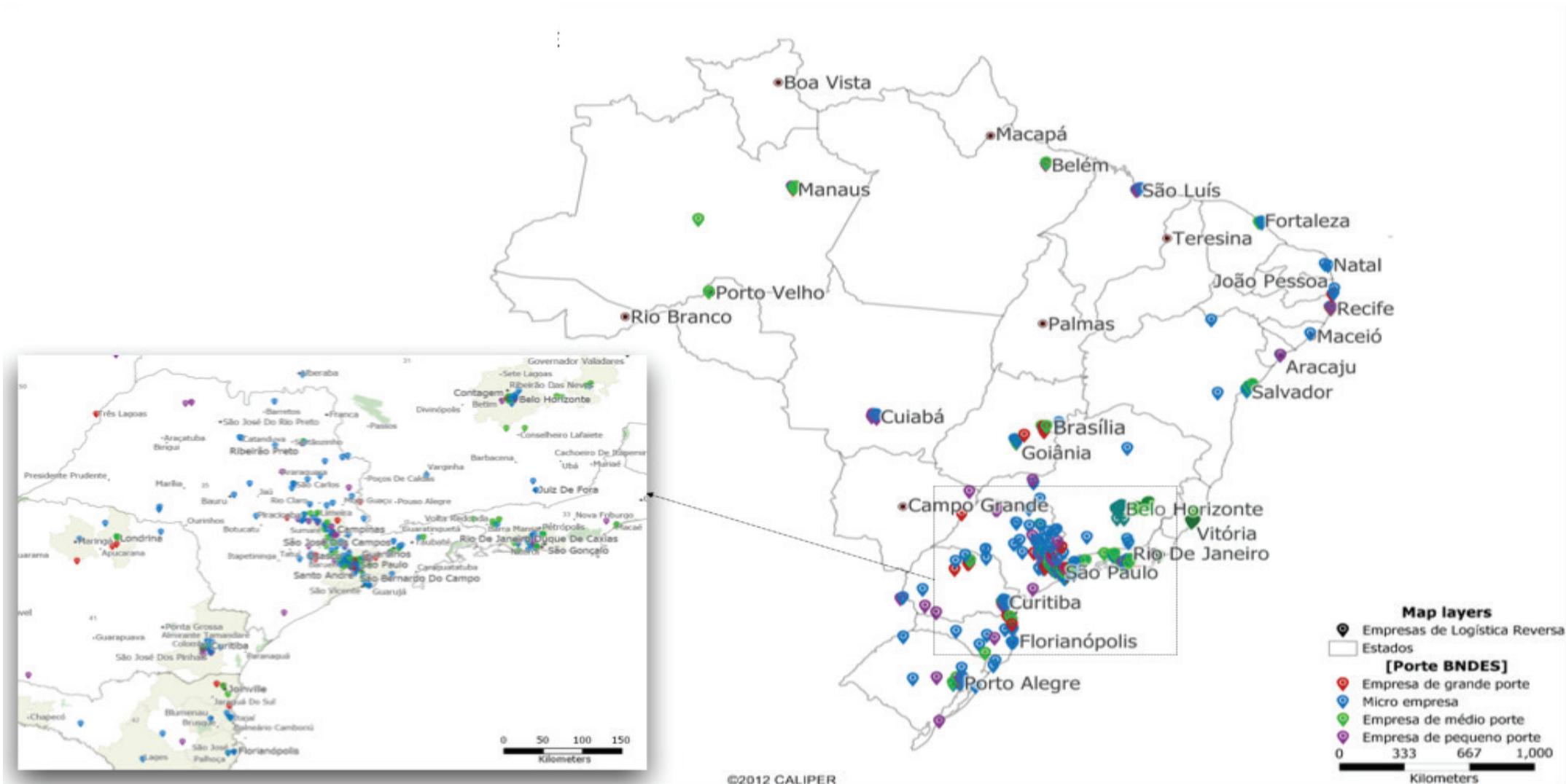
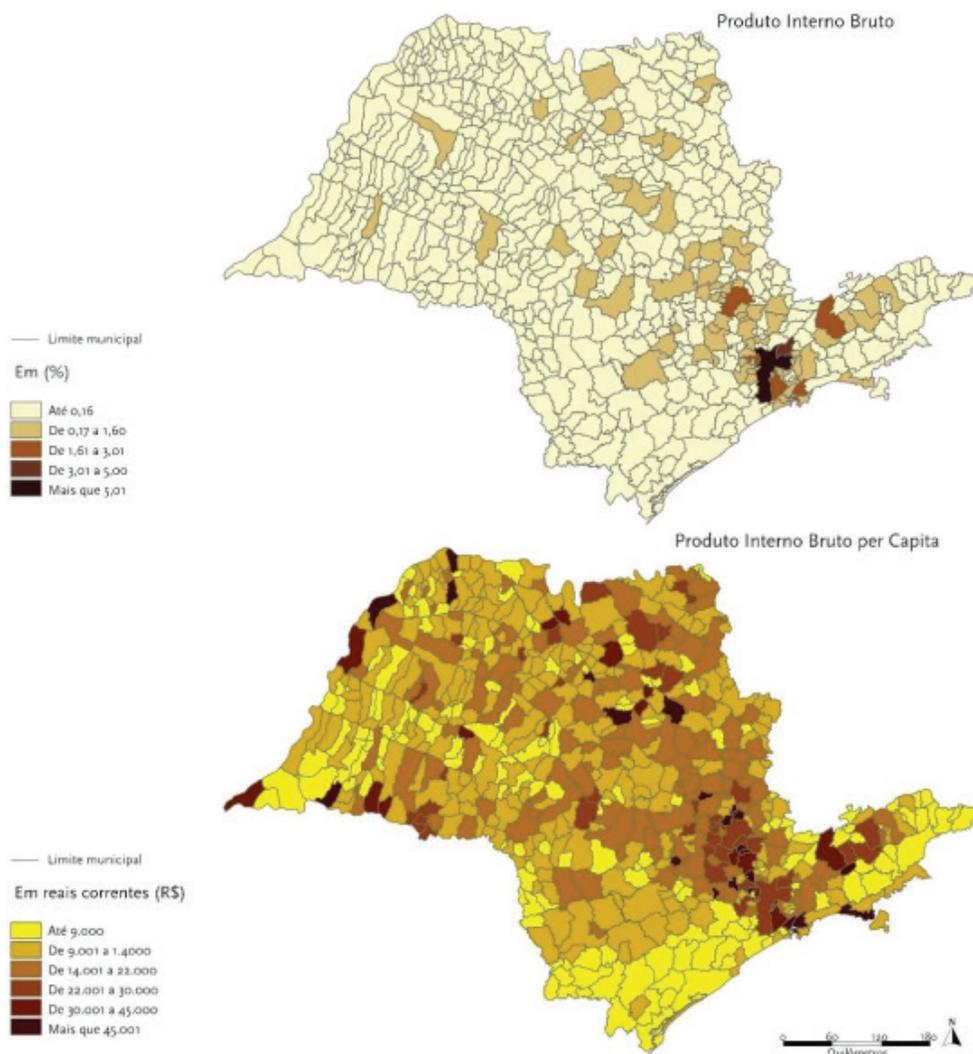


Figura 8 - PIB e PIB per capita em gradiente para o estado de São Paulo.



Fonte: Egler et al., 2013.

A distribuição geográfica das recicladoras evidencia uma concentração prioritária nas regiões Sul e Sudeste. O Sudeste concentra 292 (65%) das empresas identificadas. O detalhe da Figura 7 revela a existência de um corredor formado a partir da geolocalização das empresas recicladoras para o estado de São Paulo. Este comportamento parece estar relacionado a concentração do PIB e PIB per capita para o estado (Figura 8), corroborando para a correlação entre o PIB e a geração de REEE já apontada por diferentes autores (Awasti et al., 2018; Xavier et al., 2021).

A classificação por porte de empresa fornecida pela base cadastral da Receita Federal indica três categorias: microempresas, pequenas empresas e demais empresas. A categoria “demais empresas” concentrando as categorias médias e grandes empresas. Desta forma, foi necessário desagregar a classificação “demais empresas” para permitir uma análise mais aprofundada do segmento.

A desagregação foi efetuada a partir do capital social da empresa, conforme categorização do faturamento pelo BNDES, da seguinte forma: microempresas, até R\$ 360 mil; pequenas empresas, até R\$ 4,8 milhões; empresas de médio porte, mais de R\$ 4,8 milhões; e grande porte, mais de R\$ 300 milhões. Apenas 9% das empresas identificadas são de grande porte. A maior parte das empresas ativas atuantes no setor são microempresas (43,6%), enquanto as empresas de médio e pequeno porte totalizam 26 e 21%, respectivamente.

A análise da situação cadastral das empresas evidencia que 19 empresas se encontram com CNPJ baixado, outras 7 empresas foram consideradas inaptas. A respeito ao ano de criação,

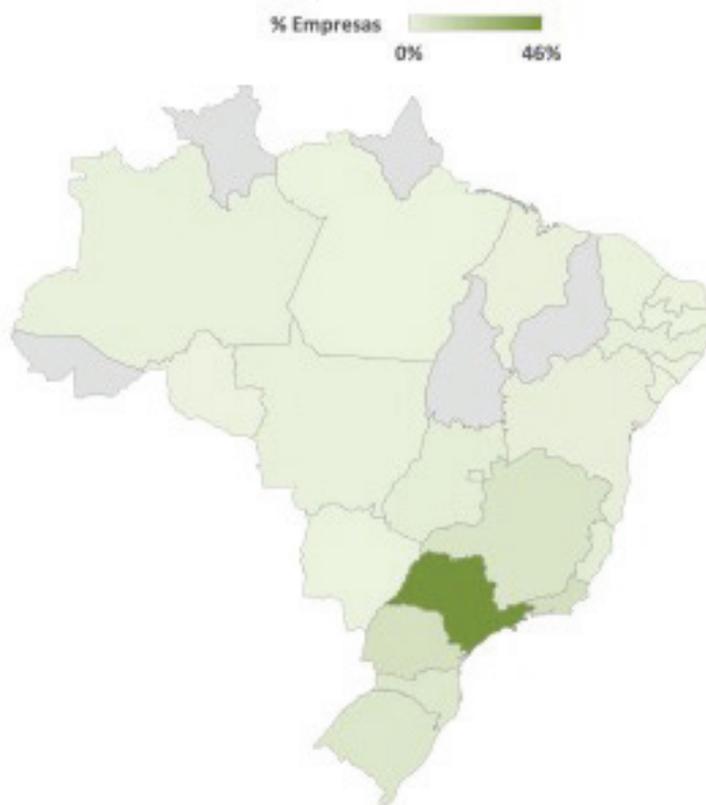
públicas e por ser pioneiro na coleta e destinação de resíduos sólidos urbanos, quando comparado a outros estados e ainda absorve a demanda do Rio de Janeiro. O Estado do Rio Grande do Sul configura como um expressivo aporte de recursos, o que poderia indicar a consolidação do estado como um cluster no eixo sul, possivelmente em razão do estabelecimento de empresas produtoras de refrigeradores na região, demandando unidades que contribuam para a remanufatura ou reciclagem.

Minas Gerais também apresenta empresas com maior aporte de capital, refletindo a geração do Sudeste, seguido de Pernambuco, estado que sedia polo de tecnologia, com a concentração de empresas de grande porte no estado de São Paulo e o capital social prevalecendo no Sul e o estado de Pernambuco prevalecendo como polo tecnológico. De forma adicional, as duas empresas mais expressivas na coleta e processamento de gases a partir de refrigeradores localizam-se, respectivamente em São Paulo (Indústria FOX) e Pernambuco (Revert).

A distribuição de empresas de médio porte (Figura 10), indica a necessidade de aprofundamento de estudos. Há uma maior distribuição nas regiões Sudeste, Sul e Norte do país. Outros estados do Nordeste, além de Pernambuco, ganham destaque, como Bahia e Ceará.

As empresas de pequeno porte, por sua vez, apresentam concentração nas regiões Sudeste e Sul, mas também possuem uma distribuição significativa no Centro-Oeste, o que não foi verificado para os demais portes. Observa-se ainda a ocorrência em estados isolados como Pará, Pernambuco, Maranhão e Sergipe. A distribuição geográfica das microempresas também está concentrada nas regiões Sudeste e Sul.

% EMPRESAS ATIVAS POR UF - TOTAL



% EMPRESAS DE GRANDE PORTE POR UF



% EMPRESAS DE MÉDIO PORTE POR UF



% DE PEQUENAS EMPRESAS POR UF



% MICRO EMPRESAS POR UF



Figura 10- Distribuição espacial das empresas a partir do porte.

DESCRIÇÃO DE CNAE ATIVIDADE PRINCIPAL	CONTAGEM
Comércio atacadista de resíduos e sucatas metálicos	63
Coleta de resíduos não perigosos	45
Recuperação de materiais metálicos, exceto alumínio	39
Recuperação de materiais não especificados anteriormente	33
Tratamento e disposição de resíduos perigosos	20
Comércio atacadista de resíduos e sucatas não metálicos, exceto papel e papelão	17
Coleta de resíduos perigosos	16
Atividades de associações de defesa de direitos sociais	15
Comércio varejista de artigos de joalheria	12
Transporte rodoviário de carga, exceto produtos perigosos e mudanças, intermunicipal, interestadual e internacional	10
Recuperação de sucatas de alumínio	10
Recuperação de materiais plásticos	9
Tratamento e disposição de resíduos não perigosos	8
Comércio atacadista de resíduos de papel e papelão	8
Serviços de engenharia	7
Atividades de consultoria em gestão empresarial, exceto consultoria técnica específica	7
Outras atividades profissionais, científicas e técnicas não especificadas anteriormente	5
Comércio varejista especializado de equipamentos e suprimentos de informática	5
Comércio atacadista de equipamentos de informática	5
Transporte rodoviário de produtos perigosos	4
Demais	140

Tabela 8- As 20 principais classificações CNAEs das empresas recicladoras.

A classificação das empresas recicladoras, de fato compreende um amplo conjunto de atividades que podem abranger desde a simples coleta e triagem, passando por procedimentos de reparo e manutenção, até etapas mais complexas de processamento e transformação para fins de recuperação de materiais. Assim, neste diagnóstico foi proposta uma análise mais detalhada das possíveis atuações das empresas do setor.

Portanto, a identificação da área de atuação das empresas foi realizada a partir dos respectivos códigos para a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE). Conforme apresentado na Tabela 8, os 20 códigos CNAE mais recorrentes evidenciam a diversidade de atuação das empresas em razão, especialmente, da baixa frequência de empresas por tipos de CNAE. Observa-se com maior frequência códigos correspondentes à atuações em comércio atacadista de resíduos e sucatas, coleta de resíduos, recuperação de materiais, tratamento e disposição de resíduos e transporte de cargas.

A diversidade de classificações pode ser interpretada como falta de especificidade ou dificuldade de categorização da atuação das empresas uma vez que há codificações específicas disponíveis para o setor. A recuperação de materiais a partir dos REEE, por exemplo, podem ser realizadas por meio de processos metalúrgicos básicos e parte das empresas que realizam estes procedimentos de recuperação ou tratamento não possuem identificação de CNAE específico para indústria de transformação (divisão 24) ou ainda coleta, tratamento e disposição de resíduos, recuperação de materiais (divisão 38).

Uma segunda camada de categorização das empresas recicladoras teve como base, além dos descritivos para os respectivos códigos CNAE, a descrição das próprias empresas e ainda possibilidades identificadas no mapeamento dos fluxos para a logística reversa de REEE no Brasil. Desta forma, foram identificadas 17 subcategorias para a atuação das recicladoras, conforme detalhado a seguir.

1 - Transporte: Coleta e transbordo de produtos e materiais (sem estocagem);

2 - Estocagem: Armazenamento de produtos pós-consumo (apenas área de armazenagem);

3 - Logística reversa: transporte, estocagem e encaminhamento de produto pós-consumo para fins de destinação (reparo, reciclagem, aterro etc.);

4 - Manufatura reversa: logística reversa e pré-processamento de produtos e materiais com a finalidade de destinação a soluções de reuso ou reciclagem;

5 - Reparo/recondicionamento: manutenção ou recuperação do funcionamento para comercialização de produto ou peça;

6 - Coprocessamento: entrada de aparas, sucata para processos como siderurgia, metalurgia;

7 - Reciclagem: processo de transformação físico, química ou biológica para a recuperação de material a ser reinserido na cadeia produtiva na qualidade de material secundário;

8 - Emite créditos logística reversa: 1 crédito por tonelada de resíduo recuperado;

9 - Calcula créditos de carbono: A empresa presta o serviço de quantificação dos créditos de carbono relacionados aos processos de uma terceira empresa para fins de relatório de sustentabilidade, sem a emissão dos créditos;

10 - Emite créditos de carbono: 1 crédito por tonelada de carbono evitado/capturado;

11 - Gestora: pessoa jurídica constituída pelas empresas fabricantes e importadoras ou associações de fabricantes e importadores de produtos eletroeletrônicos, que atenda aos requisitos técnicos de gestão, com o objetivo de estruturar, implementar e operacionalizar o sistema de logística reversa. Ex.: ABREE, GREEN ELETRON e RECICLUS;

12 - Cooperativa: associação e cooperativa de catadores;

13 - Fornecedor: fornece produtos e materiais pós consumo;

14 - Integradora: empresa que atua na interface entre o produtor e o distribuidor, provendo a montagem do produto ou na interface entre o distribuidor/importador e o consumidor, fornecendo o serviço de instalação ou manutenção do produto;

15 - Comprador: realiza a compra produtos e materiais pós-consumo;

16 - Exportação: organização que atua na preparação de lotes de REEE com a finalidade de exportação;

17 - Plataformas digitais: sistemas informatizados que permitem a coleta e gerenciamento de dados com a finalidade de possibilitar a rastreabilidade e acompanhamento da gestão de resíduos.

Para o levantamento de informações sobre a percepção das empresas em relação a atuação específica foi submetido um questionário para a autodeclaração. As Figuras 11 e 12 evidenciam as características e a evolução das respostas a respeito da atuação das empresas. A maior parte das empresas respondentes localizam-se na região Sudeste, mais especificamente no estado de São Paulo, proporção equivalente à distribuição geográfica das empresas (Figura 11).

Apenas 37 empresas, o equivalente a 8% do levantamento total, responderam ao questionário. A partir dos contatos telefônicos para a identificação das empresas e cadastro dos dados para contato (nome, email e telefone), verificou-se que muitas microempresas não identificam a atuação no setor apesar de realizarem parte dos processos logísticos. Por outro lado, os atendentes em um primeiro contato com a empresa tinham alguma dificuldade para informar quem seria o colaborador de contato ou que poderia responder as questões apresentadas.

Desta forma, a Figura 12 apresenta a consolidação das informações obtidas a partir das respostas alcançadas. A identificação da atuação no setor de transporte, reciclagem, logística reversa e estocagem superaram as demais opções. A opção 'comprador' reflete a identificação do CNAE comércio varejista/atacadista na análise anterior.

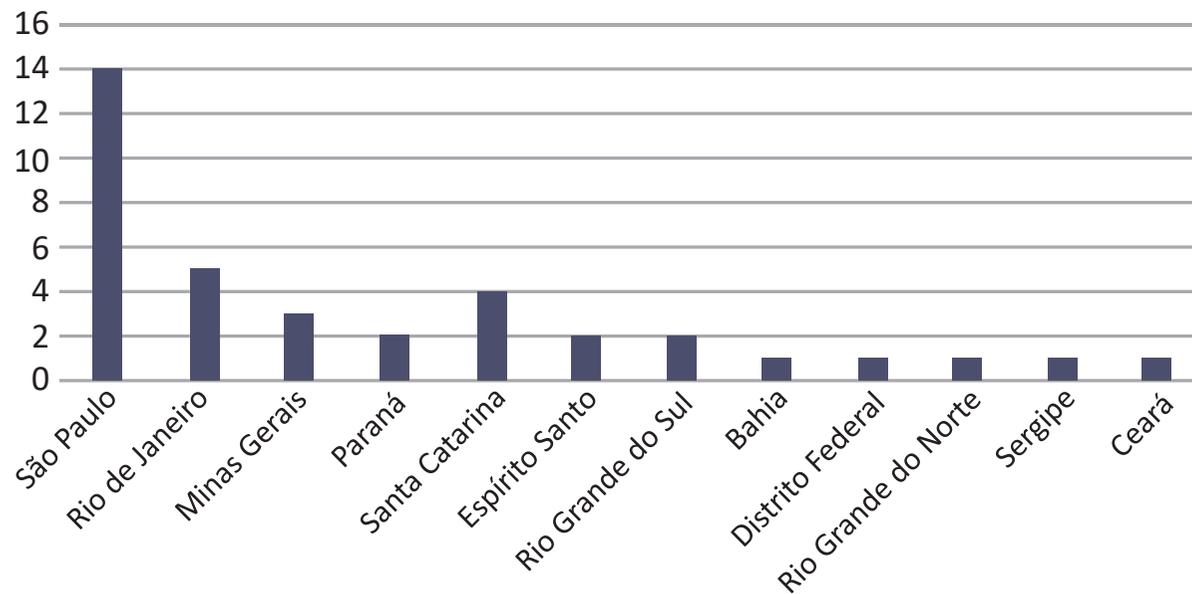


Figura 11- Empresas Recicladoras respondentes por Estado.

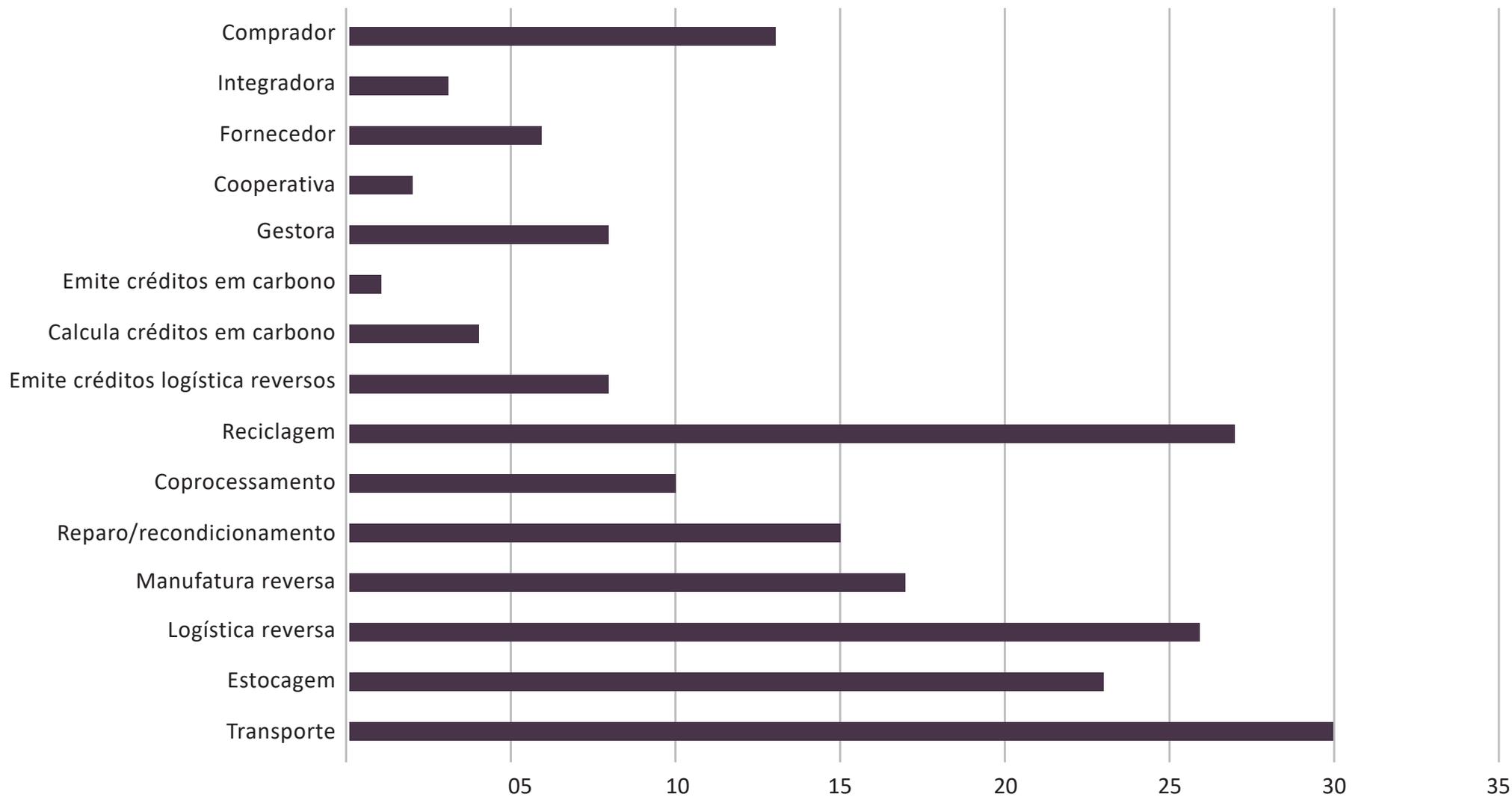


Figura 12- Classificação das recicladoras por atividades.

2.1.9 Empresas integradoras

As empresas integradoras são responsáveis por ações prioritariamente focadas em serviços, como, por exemplo: dimensionamento e projeto de infraestrutura, monitoramento, operação, manutenção e contato com clientes. A atuação das integradoras na modalidade de *hub* permite a conexão entre os diferentes agentes, viabilizando ações integradas. O setor se consolidou de forma significativa no segmento de energias renováveis em razão da necessidade de fornecimento de serviços especializados pós-venda. A seguir são apresentadas especificidades das principais empresas integradoras identificadas (Tabela 9).

A responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto, estabelecida por meio da Lei nº 12.305 de 2010 e replicada em outros documentos regulamentadores, é definida como “conjunto de atribuições individualizadas e encadeadas dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, dos consumidores e dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos”. Nessa definição não se encontram especificadas as empresas integradoras. Ao desempenhar também atividades de produção, importação ou exportação essas empresas podem ser contempladas no conceito de responsabilidade compartilhada. A atuação de prestação de serviços, que equivale a principal atuação das empresas integradoras, não se encontra no rol de responsáveis pela responsabilidade compartilhada.

Tabela 9 - Dados de algumas empresas integradoras que atuam no setor de equipamentos eletroeletrônicos no Brasil.

EMPRESA	ATUAÇÃO	LOCALIZAÇÃO
Foxconn	Empresa integradora, fabricante e exportador de equipamentos eletroeletrônicos 3C (Computadores, Comunicações e Consumos Eletrônicos).	Jundiaí – SP
Atthos	Realiza projetos, compra e instala placas solares.	Brasília – DF
Serra partners	Comercializa e instala placas solares.	São Paulo – SP
Serra energy	Realiza projetos, compra e instala placas solares.	São Paulo – SP
Solbras	Empresa integradora, fabricante, atuando em reparo e manutenção de equipamentos pessoais e domésticos, serviços de engenharia e comércio.	João da Boa Vista – SP
S2B	Captação de recursos e gerenciamento administrativo	Brasília – DF

LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

3. 3.1 METODOLOGIA

O estudo bibliométrico, consolida as pesquisas bibliográficas realizadas na primeira etapa do projeto e inclui uma revisão sistemática da literatura (RS) baseada nas diretrizes originais citadas por Kitchenham e colaboradores (2009). O desenvolvimento desta metodologia (Figura 13) para o estudo bibliométrico apresenta as seguintes etapas:

- (i) Delimitação do campo de estudo;
- (ii) Definição das chaves de busca;
- (ii) Aplicação das chaves de busca na base de artigos;
- (iv) Simulação da dinâmica de sistemas (DS) por meio do Vensim PLE 9.3;

Simulação dos resultados no *Vosviewer*.

Todas essas etapas foram verificadas e validadas por toda a equipe do projeto, através de reuniões periódicas.

As palavras-chave primárias consideradas na busca foram: “circular economy”, “urban mining”, “Brazil”, “reverse logistics”, “recycl*” e “reverse supply chain”. Esse conjunto de palavras-chave foi definido a partir de análise inicial com chaves de busca considerando diferentes palavras-chave de forma isolada, em duplas, trio e quarteto de palavras relacionados aos temas principais da pesquisa.

Adicionalmente, foram feitas novas buscas considerando cada uma dessas palavras-chave primárias juntamente com os sinônimos em inglês para os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos, a saber: “WEEE” OR “e-waste” OR “Electronic equipment” OR “Waste electrical electronic equipment” (Tabela 10).

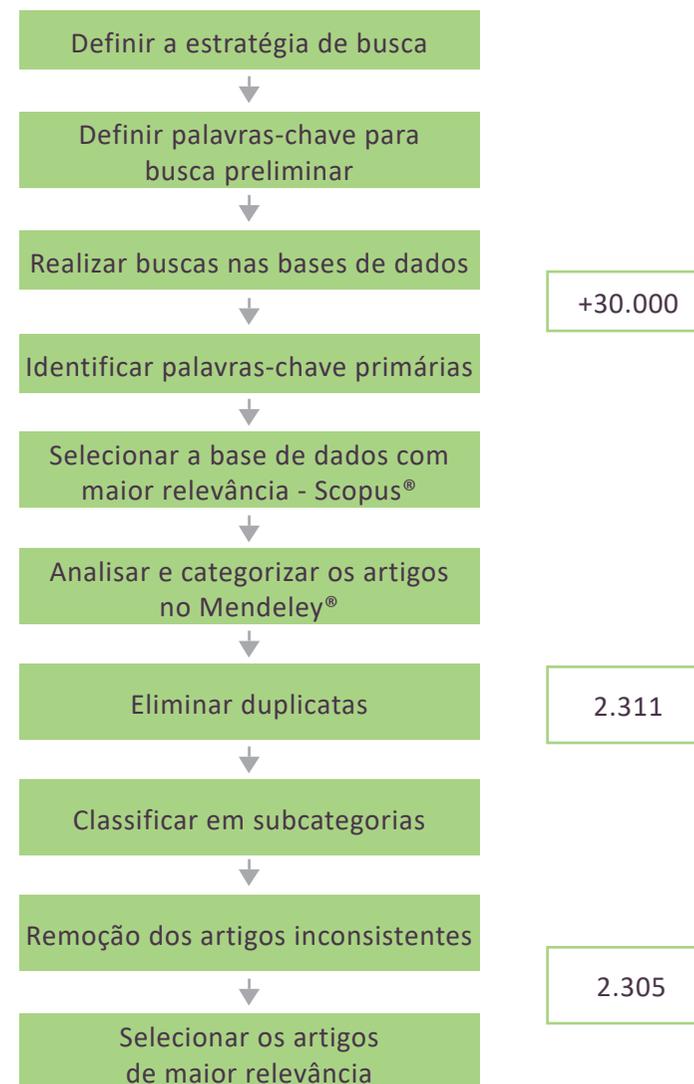


Figura 13- Metodologia aplicada no estudo bibliométrico.

Chaves de busca	Nº de artigos
“Circular economy” AND “WEEE” OR “e-waste” OR “Electronic equipment” OR “Waste electrical electronic equipment”	341
“Urban mining” AND “WEEE” OR “e-waste” OR “Electronic equipment” OR “Waste electrical electronic equipment”	86
Recycl* AND “WEEE” OR “e-waste” OR “Electronic equipment” OR “Waste electrical electronic equipment”	2000
“Reverse logistics” AND “WEEE” OR “e-waste” OR “Electronic equipment” OR “Waste electrical electronic equipment”	169
“Reverse supply chain” AND “WEEE” OR “e-waste” OR “Electronic equipment” OR “Waste electrical electronic equipment”	52
“Brazil” AND “WEEE” OR “e-waste” OR “Electronic equipment” OR “Waste electrical electronic equipment”	95

Tabela 10- Chave de busca primária.

As chaves de busca foram utilizadas no processo de prospecção de artigos científicos com diferentes combinações e estratégias de busca, como aspas (para localizar os artigos que contêm essa palavra específica) e truncamento (*), o asterisco foi utilizado para representar zero ou mais caracteres. Por exemplo, Recycl* para localizar os documentos que contêm as palavras *recycle*, *recycling*, *recycled* etc. Também foram utilizados operadores booleanos *AND* (entre duas palavras para localizar os artigos que contêm ambas as palavras) e *OR* (entre duas palavras para localizar os artigos que contêm uma dessas palavras). Em seguida, estes artigos foram triados em subcategorias, conforme a Tabela 11, a seguir.

Tabela 11 - Subcategorias selecionadas para análise dos artigos.

Subcategorias	Total de artigos
Techniques	865
Legislation	125
Reverse logistics	103
Cell phone	66
Batteries	120
Case studies	453
Circularity pathway	280
Inconsistentes	276

Foi identificado um total de 276 artigos qualificados como inconsistentes por não apresentarem aderência às palavras-chave do estudo bibliométrico. Além dos artigos inconsistentes, foram retirados os artigos em duplicidade utilizando o software Mendeley®, totalizando 2.035 artigos, selecionados na base final.

Para temáticas específicas foram ainda consideradas subcategorias complementares, tais como: “*hazardous*”, “*contamination*”, (*country*), “*metals*”, “*plastics*” e “*critical materials*”. Essas temáticas, apesar de denotarem significativa importância no contexto da avaliação do conteúdo dos artigos, foram qualificadas como complementares porque apareciam em maior frequência para grupos específicos ou países específicos de origem.

Por exemplo, os artigos sobre contaminação e técnicas de avaliação de impacto eram prioritários de países como Índia e China. Nessa temática foi considerado o potencial de impacto da gestão de REEE a partir de técnicas de mensuração em amostras biológicas (sangue, cabelo e outros), bem como amostras ambientais (água, solo etc.). Artigos com enfoque em materiais críticos, por sua vez, tinham como origem estudos europeus, em sua maioria. Foram identificados 95 estudos com estudos de caso contemplando o Brasil. Uma análise mais aprofundada sobre a origem e a abrangência desses estudos é apresentada a partir do desenvolvimento do estudo de caso.

3.2 MAPEAMENTO

A utilização do modelo conceitual da dinâmica de sistemas (DS) estabelece uma conexão entre as variáveis que serão analisadas e qualquer alteração em uma dessas variáveis, afe-

ta uma ou mais variáveis, por meio dos seus fluxos de forma dinâmica. Dentro da DS, existem processos de realimentação, onde toda ação produz uma reação do sistema, alterando o estado desse sistema (STERMAN *et al.*, 2015).

Simulação computacional por meio do modelo conceitual da dinâmica de sistemas para identificar os fatores que exercem influência sobre a gestão de resíduos eletroeletrônicos:

A DS permite analisar as cadeias de eventos circulares (loops) através de diversos tipos de diagramas (causais; estoque e fluxo) e a partir disto, é possível expressar graficamente um sistema, através da utilização de um software, possibilitando visualizar o comportamento e a dinâmica das relações de um sistema e suas variáveis ao longo do tempo.

Os diagramas circulares de looping de causa e efeito (realimentações) permitem visualizar qualitativamente as relações de causa e efeito que ocorrem entre as variáveis de um sistema. O software utilizado é o *VENSIM PLE*®, uma ferramenta que mostra visualmente, a partir da introdução de dados nas variáveis que serão estudadas, as possibilidades de melhorias e/ou retrocesso em um determinado processo. Após a simulação, os resultados são analisados a fim de definir as melhores estratégias para a tomada de decisão.

A concepção do diagrama de loop casual (Figura 14) foi essencial para fornecer detalhes sobre a relação de causa e efeito dos fatores que fazem parte da cadeia de gestão de resíduos eletroeletrônicos, permitindo ter como base para o entendimento e tomada de decisão, a análise de todas as variáveis que fazem parte do sistema.

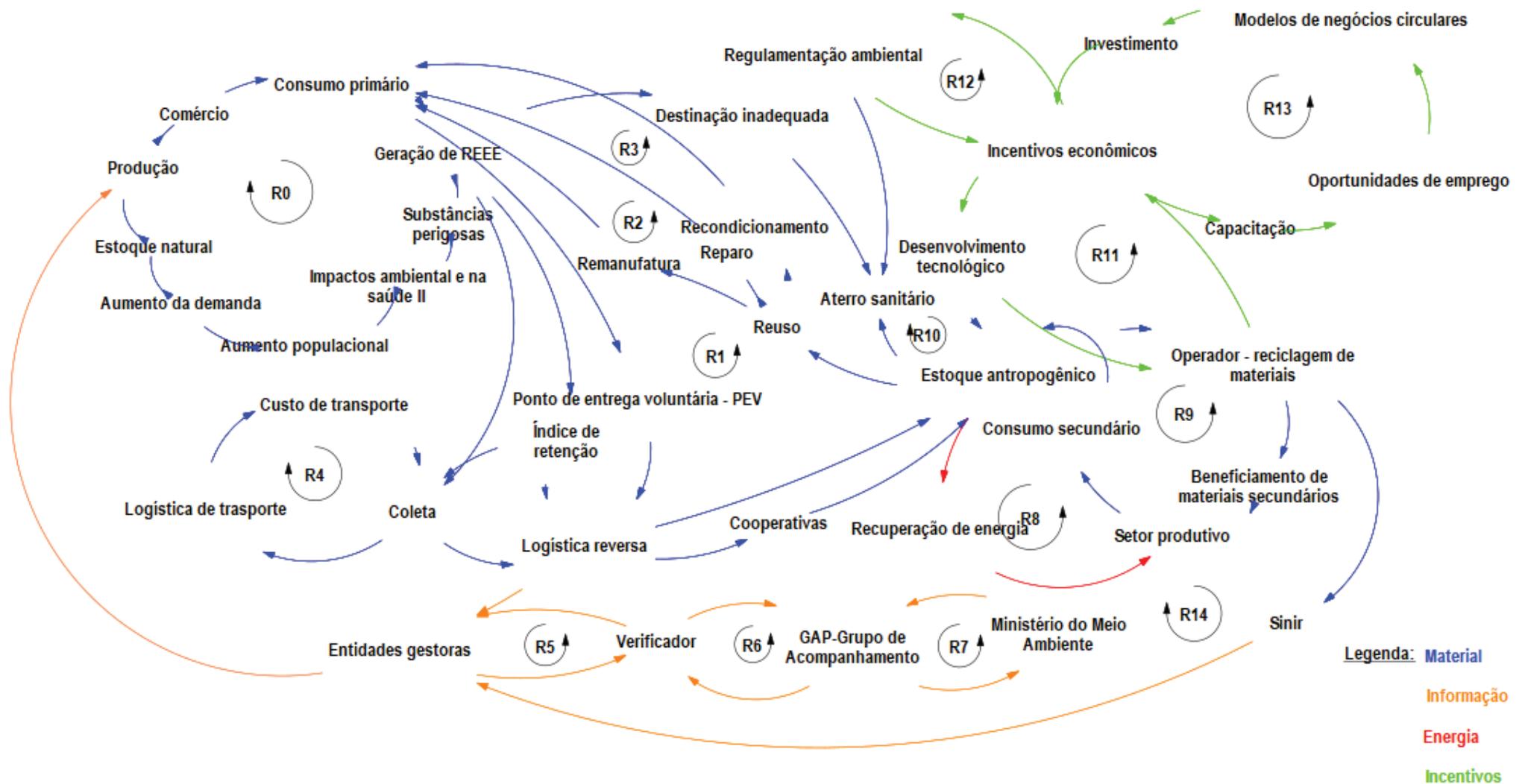


Figura 14- Diagrama de Loop causal sobre a relação de causa e efeito dos fatores que fazem parte da cadeia de gestão de resíduos eletroeletrônicos.

Na sequência, o software Vosviewer® foi utilizado para validação de cada chave de busca, estabelecendo conexões entre as palavras-chaves. Desta forma, as chaves de busca para o levantamento do conjunto de artigos foram estabelecidas da seguinte forma:

“Chave de busca principal” AND “WEEE” OR “e-waste” OR “Electronic equipment” OR “Waste electrical electronic equipment”.

Diante deste cenário, com a revisão sistemática realizada, é importante mencionar a correta identificação das chaves de busca como fator de impacto para a justificativa do projeto, tendo em vistas os resultados alcançados. Outrossim, vale ressaltar, que foi identificado o desenvolvimento tecnológico e novas alternativas propostas para a gestão dos resíduos eletroeletrônicos.

Também é importante destacar que a revisão sistemática realizada sobre a temática, contribui para o desenvolvimento de um diagnóstico sobre o panorama atual da gestão de resíduos eletroeletrônicos, o que endossa a importância do projeto para o setor. Tendo em vista que o destaque as palavras selecionadas, comprovando, em uma breve análise que existe muitas publicações associadas as chaves de busca estabelecidas.

Na análise realizada, as publicações a respeito do REEE vêm ganhando destaque pelo mundo, e a temática apresenta potencial para fortalecer a economia circular e a mineração urbana como um caminho para o desenvolvimento de novos modelos de negócio com potencial de implementação a partir do sistema de logística reversa.

Os resultados das buscas são apresentados nas Figuras 15 a 20.

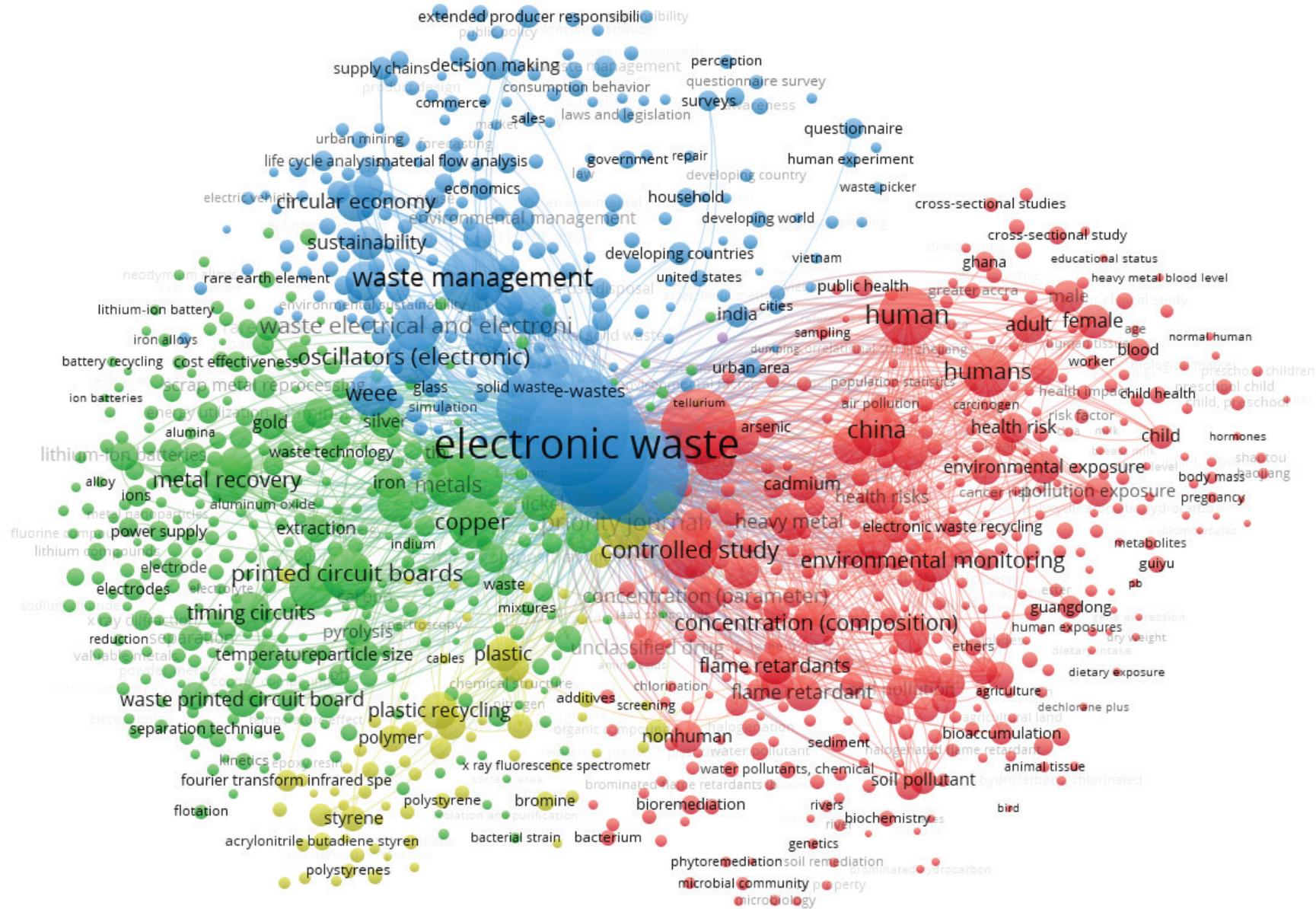


Figura 20- “Recycl* AND “WEEE” OR “e-waste” OR “Electronic equipment” OR “Waste electrical electronic equipment”.

4. ARCABOUÇO LEGAL E NORMATIVO

As normas técnicas e regulamentações que versam sobre gestão ambiental e, mais especificamente, sobre gestão de resíduos no Brasil são bastante diversificadas. A regulamentação da implantação de sistemas de logística reversa representou uma importante contribuição. A estruturação de canais reversos possibilitou a estruturação de novos modelos de negócio com vista a atender os fluxos de coleta e destinação de produtos pós-consumo.

Diferentes setores produtivos já possuem sistemas de logística reversa estabelecidos, como é o caso das embalagens, do óleo lubrificante, pneus, pilhas e baterias, eletrônicos e medicamentos.

Os sistemas de logística reversa (SLR) podem ser estabelecidos por três categorias de instrumentos jurídicos, a saber: termos de compromisso, acordos setoriais ou regulamentações. O segmento de REEE experimentou as três categorias e, mais recentemente, com a elaboração do Decreto nº 10.240 de 2020, os demais instrumentos foram descontinuados, prevalecendo as determinações do Decreto. Este instrumento estabelece as metas e prazos a serem alcançados durante a implantação do SLR dos resíduos eletroeletrônicos. O sistema teve início no ano de 2021, com o esta-

belecimento da meta de coleta e destinação de 1% do volume em peso dos equipamentos eletroeletrônicos colocados no mercado no ano-base de 2018.

De acordo com Xavier et al. (2021), o volume colocado no mercado (VCM) no ano de 2018 equivale a 1.788.760 toneladas de equipamentos eletroeletrônicos, desta forma, o quantitativo para o ano de 2021 seria o equivalente a 17.886,60 toneladas e 304.089,20 toneladas para o ano de 2025, conforme apresentado na Tabela 12.

As metas percentuais anuais não são cumulativas e devem ser comprovadas e validadas pelo Ministério do Meio Ambiente. Cabe ressaltar que, em função da dificuldade de correlação entre os dados de produção, importação e exportação, o VCM foi calculado para parte dos itens listados no Anexo I do Decreto nº 10.240 de 2020. Neste anexo constam 210 itens prioritários para a implementação e validação das metas de coleta de destinação de REEE.

Juntamente com o estabelecimento de documentos regulatórios a respeito da gestão dos minerais estratégicos, os instrumentos que estabelecem a obrigatoriedade da implementação

Tabela 12 - Metas para coleta e destinação de REEE no Brasil a partir do ano-base de 2018.

ANO	2021	2022	2023	2024	2025
Meta (%)	1	3	6	12	17
Volume (ton)	17.886,60	53.662,80	107.325,60	214.651,20	304.089,20

dos SLR consistem nos principais norteadores da mineração urbana no país. Este compilado de documentos representa o marco referencial do setor e estabelece os principais condicionantes para a expansão da mineração urbana e contribui com a identificação das questões estratégicas para o setor.

4.1. MARCO REGULATÓRIO

A abordagem da gestão de resíduos se consolidou a partir da década de 1990 em diferentes países do mundo. O registro de grandes acidentes ambientais, como o derramamento de óleo do navio Exxon Valdez (Lindeberg et al., 2018 e Prabowo et al., 2019), ou o acidente de Chernobyl (Tondel et al., 2022 e López-Pérez et al., 2022), ambos ocorridos na década de 1980 deram início à uma série de discussões e elaboração de instrumentos regulamentadores sobre os critérios para a prevenção e mitigação de impactos, análise de indicadores e a gestão de resíduos. A partir de então, os conceitos como sustentabilidade e desenvolvimento sustentável ganharam espaço na legislação, consolidando a legislação ambiental.

Nesse mesmo período, em setembro de 1987 no Brasil, o acidente radiológico em Goiânia inaugurou um novo capítulo da história ambiental do país. Uma cápsula contendo o elemento radioativo césio 137, pertencente a um equipamento eletromédico abandonado, foi removida e aberta por dois homens que desmontaram o equipamento com a intenção de comercializar os metais (Cruz et al., 1994). Muitas pessoas foram contaminadas direta e indiretamente a partir desse episódio que pode ser considerado o primeiro reportado no país e com

repercussão internacional envolvendo a gestão inadequada de equipamentos eletrônicos.

Países como Estados Unidos, Rússia e Japão foram os primeiros a regulamentar a gestão de resíduos eletrônicos motivados pelo potencial de risco dessa categoria de resíduos, em especial os metais pesados presentes na maior parte dos equipamentos. Desta forma, foram estabelecidos os primeiros tratados internacionais sobre substâncias perigosas, como a Convenção de Estocolmo que tem como objetivo o banimento de substâncias classificadas como Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs), a Convenção de Roterdã que regula o comércio internacional de produtos químicos perigosos ou a Convenção de Minamata que estabelece restrições ao uso do mercúrio e incentiva a sua substituição por substâncias com menor grau de impacto. Esses acordos oficializam a preocupação em âmbito internacional sobre os problemas ambientais, demonstrando as possíveis consequências que a exploração ilimitada dos recursos naturais pode trazer ao meio ambiente. Assim, os países passaram a atuar no sentido de buscar o equilíbrio entre os interesses econômicos e a preservação ambiental.

O Brasil é signatário das principais convenções que tratam de substâncias potencialmente tóxicas, como a Convenção de Estocolmo e a Convenção de Minamata. Mas o país também aderiu à Convenção da Basileia, principal tratado internacional sobre a movimentação de resíduos entre países. A adesão do Brasil possibilitou um cenário com menor incidência, por exemplo, de queima de cabos a céu aberto, como ocorre com alguma frequência em países dos continentes africano e asiático.

Estima-se, por exemplo, que a Nigéria receba entre 60 e 71 mil toneladas de REEE anualmente (Maes e Preston-Whyte, 2022). Diferentes autores avaliam que os impactos decorrentes da gestão inadequada dos REEE são resultado da fraca regulamentação ambiental, significativa geração de resíduos eletrônicos e escassez de processos para reuso, reparo ou reciclagem dos produtos pós-consumo (UNEP, 2018; Baldé et al., 2017; Prajuly et al., 2019).

Como desdobramento da adesão do Brasil à Convenção de Minamata, foi promulgado o Decreto nº 9.470 em 2018, estabelecendo a proibição da produção, importação ou exportação de produtos contendo mercúrio a partir de 2020. Dentre os produtos listados no Anexo A do Decreto estão: baterias, computadores, lâmpadas e interruptores.

Os Estados Unidos, na contramão da tendência para os países desenvolvidos, apesar de ter assinado a Convenção de Basileia em 1990, não aderiu ao tratado. A maior parte dos países confirmou e regulamentou ainda na década de 1990, como o Brasil em 1992.

A Diretiva Europeia WEEE estabelece que produtores e importadores de produtos eletrônicos são os principais responsáveis pelo ciclo de vida de seus produtos, custos de coleta, transporte, tratamento e reciclagem. De acordo com Miguez (2009), a Diretiva WEEE se aplica às categorias de grandes e pequenos eletrodomésticos, equipamentos de TI, equipamentos de telecomunicações, equipamentos de consumo, equipamentos de iluminação, eletrônicos e ferramentas elétricas, equipamentos de lazer, esportes, brinquedos,

dispositivos médicos e de monitoramento. Outra diretiva muito relevante é a Diretiva RoHS (Restrictions on the Use of Hazardous Substances), que desde julho de 2006 propõe que produtos eletrônicos que contenham substâncias que coloquem em risco a saúde humana ou o meio ambiente não possam ser comercializados na União Europeia. Também na União Europeia, a diretiva EuP (Eco-Design of Energy Using Products), que trata da questão dos produtos que atendem às especificações de ecodesign que beneficiam consumidores e empresários, melhorando a qualidade do produto e a proteção ambiental. Cada país membro desenvolve regulamentos específicos para a gestão de REEE de acordo com as metas estabelecidas.

A regulamentação alemã sobre a gestão de resíduos eletrônicos serviu como base para a elaboração das diretivas europeias (ElektroG, 2005). No entanto, parece que a Lei russa N 89-FZ foi a primeira regulamentação federal sobre o tema, abordando de forma pioneira os resíduos resultantes da produção e consumo, conforme Figura 21 sobre a linha do tempo das regulamentações sobre REEE no mundo.

Historicamente, nos marcos regulatórios sobre a gestão de resíduo eletroeletrônico, é possível identificar as diretrizes em diferentes países. Vale ressaltar que o estabelecimento e desenvolvimento de marcos regulatórios tem a ver com a tomada de decisões em diferentes países, tendo em vista a necessidade de controle da produção e consumo e geração de REEE, permitindo monitorar o descarte inadequado para minimizar seus impactos negativos, com potencial futuro para promover a inserção desses resíduos como fonte de matérias-

-primas secundárias. A Figura 21 apresenta exemplo de alguns dos principais marcos regulatórios mundiais.

De acordo com o Global E-Waste Monitor (Forti et al., 2020), desde 2014, os países avançaram sobre a adoção de medidas legislativas voltadas para a gestão dos resíduos eletroeletrônicos e o número de países que adotaram alguma política nacional de resíduos eletroeletrônico aumentou. Em 2014 apenas 44 % da população e 61 países ao redor do mundo, estavam amparados por alguma legislação ou regulamentação que abordavam sobre REEE, em 2017 este número aumentou

para 66 % da população e 67 países, e em 2019, 71% da população mundial e 78 países tinham suporte de tais medidas.

Entre os países que possuem políticas voltadas para a gestão ambientalmente correta dos resíduos eletroeletrônicos, se destacam na América do Sul: o México, Costa Rica, Chile, Colômbia e Peru, que são as principais forças na região para a gestão de resíduos eletroeletrônicos e que, em 2020, estão trabalhando no aprimoramento dos sistemas já estabelecidos, contudo, apenas o Brasil apresenta bases estabelecidas de um marco regulatório formal para resíduo eletroeletrônico. Na

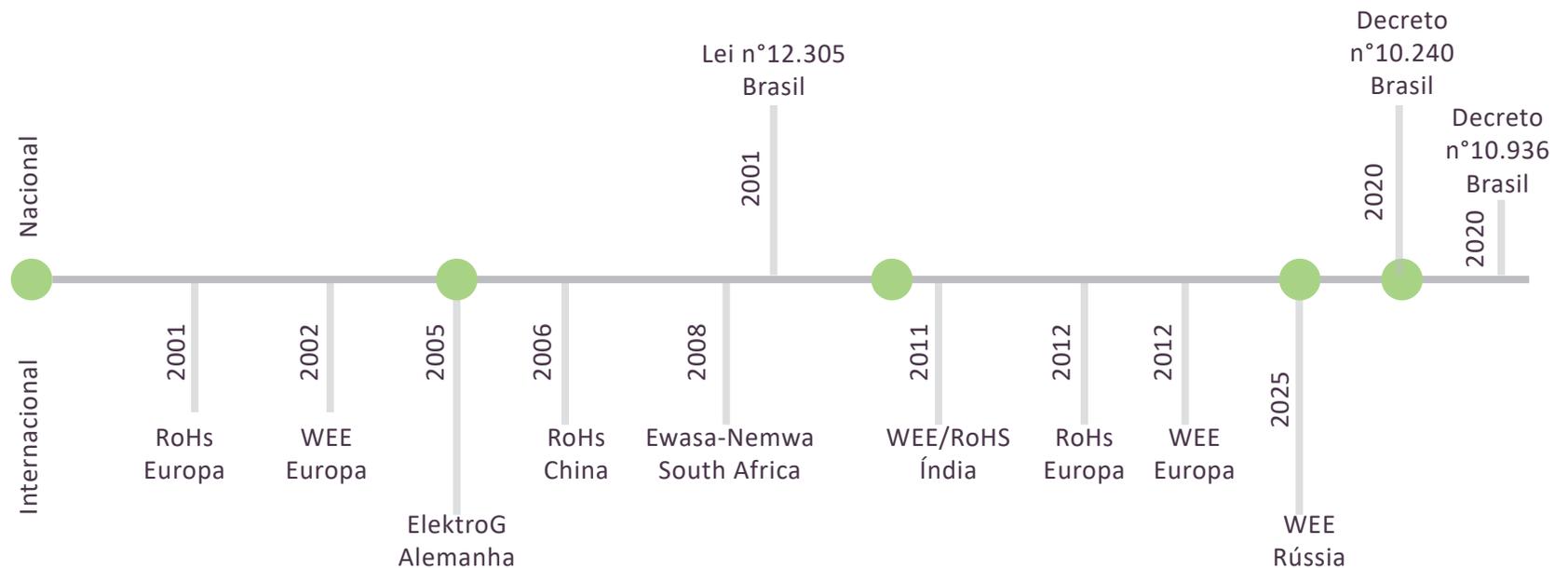


Figura 21 - Relação dos principais países com políticas, programas e projetos de reaproveitamento de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos.

Tabela 13 - Países que possuem políticas sobre REEE.

REGIÃO	PAÍSES	TOTAL	%
África	África do Sul, Camarões, Costa do Marfim, Egito, Gana, Quênia, Madagascar, Nigéria, Ruanda, São Tomé e Príncipe, Tanzânia, Uganda, Zâmbia	13	24
Ásia	Camboja, China, Índia, Irã, Israel, Japão, Jordânia, Malásia, Mongólia, Noruega, República da Coreia, Srilanka, Singapura, Tailândia, Turquia	15	31
Europa	Albânia, Alemanha, Áustria, Bielorrússia, Bélgica, Bósnia, Bulgária, Croácia, Chipre, Dinamarca, Estônia, Finlândia, França, Grécia, Holanda, Hungria, Islândia, Irlanda, Itália, Letônia, Lituânia, Luxemburgo, Malta, Montenegro, Macedônia do Norte, Polônia, Portugal, República Checa, República da Moldávia, Reino Unido, Romênia, Sérvia, Suécia, Suíça, Eslovênia, Eslováquia, Espanha, Ucrânia	38	76
Américas	Argentina, Bolívia, Brasil, Canadá, Chile, Colômbia, Costa Rica, Estados Unidos, Equador, México, Peru	11	31
Oceania	Austrália	1	7

Fonte: Forti et al. (2020) e ERI (2022).

Ásia, destaque para a Índia, que é o único país do sul da Ásia com legislação sobre resíduos eletroeletrônicos. Na Índia, leis para gerenciar o resíduo eletroeletrônico estão em vigor desde 2011. Na Europa, a maioria dos resíduos eletroeletrônicos é regulamentada pela Diretiva WEEE (2012/19/UE), ganhando destaque a União Europeia e a Noruega que são regulamentados por esta diretiva. Contudo, países como a Islândia, Suíça, Sérvia e Bósnia possuem leis semelhantes. Na Oceania, a Austrália possui um Esquema Nacional de Reciclagem de Televisão e Computadores que foi implementado sob a Lei de Administração de Produtos do Governo Australiano de 2011 com o objetivo de incentivar o acesso a serviços de recolha e reciclagem de televisores e computadores para moradores e pequenas empresas.

A seguir, a Tabela 13 apresenta de forma sintetizada os países que apresentam alguma política voltada para a gestão dos resíduos eletroeletrônicos.

Apesar de possuir normativas técnicas específicas, Nova Zelândia é considerado o único país membro da OCDE que não possui plano nacional para a gestão de resíduos eletroeletrônicos (Blake, 2018; Donovan, 2020). Esta condição é o padrão observado para países menores do mesmo continente. A Austrália, por sua vez, possui planos bem estruturados para a gestão eficiente dos REEE, considerando categorias específicas como televisões e computadores, bem como iniciativas privadas de coleta e destinação divulgadas pelo poder público, mas com isenção de responsabilidade.

Possivelmente essas políticas para o reaproveitamento de REEE e recuperação de materiais venham a ser incentivadas

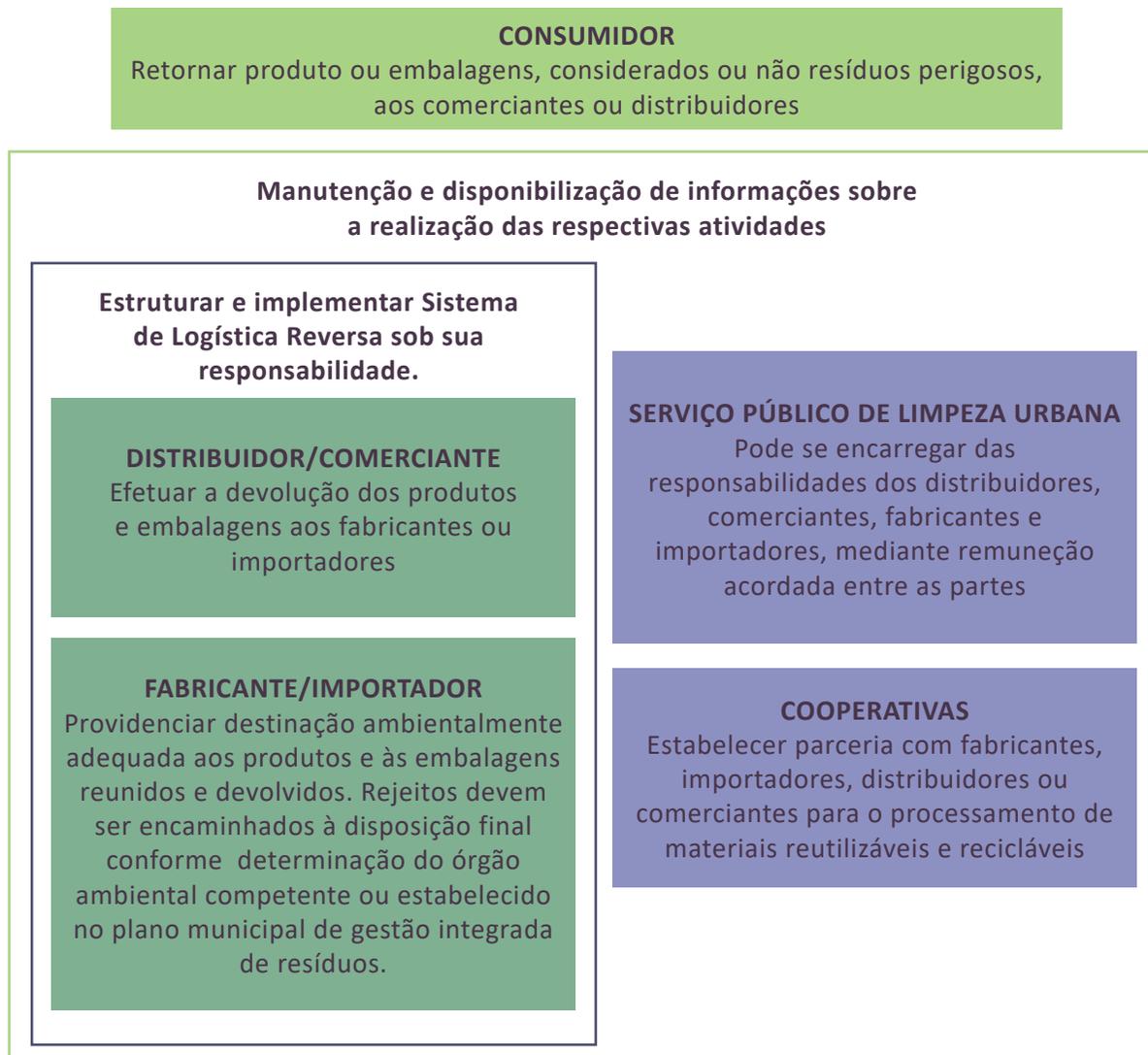


Figura 22- Responsabilidades dos agentes na implementação do Sistema de Logística Reversa (Xavier e Corrêa, 2013).

a partir da elaboração das normas sobre economia circular, que priorizam a recuperação, adição e manutenção do valor. Nesse sentido, Al-Salem et al. (2022) apresentam a estruturação de rotas de circularidade para os REEE, tendo como base o Kuwait, país que pode gerar, segundo os autores, cerca de 400 mil dólares a partir da valorização de componentes.

4.2 ESCOPO NACIONAL

O Brasil possui um rol normativo robusto no que diz respeito a REEE. Encontram-se em vigor seis legislações federais (entre Leis, Decretos, Instruções Normativas), 37 estaduais e 56 municipais, abrangendo a totalidade dos municípios (Apêndice I). A PNRS consiste no principal instrumento regulamentador que deu início à estruturação da gestão de resíduos eletrônicos no Brasil. A partir das leis, Decretos e outros instrumentos normativos, a PNRS estabeleceu as responsabilidades dos agentes para a implementação da logística reversa segundo o conceito da responsabilidade compartilhada.

Na Figura 22 são especificadas as respectivas responsabilidades em conformidade com as definições constantes nos documentos regulatórios.

Apesar do Brasil não possuir uma regulamentação específica para a mineração urbana, outros instrumentos têm contribuído para a consolidação de sistemas que suportam a prática da mineração urbana. Nesse sentido, recentemente foram promulgados Decretos fundamentais, tais como:

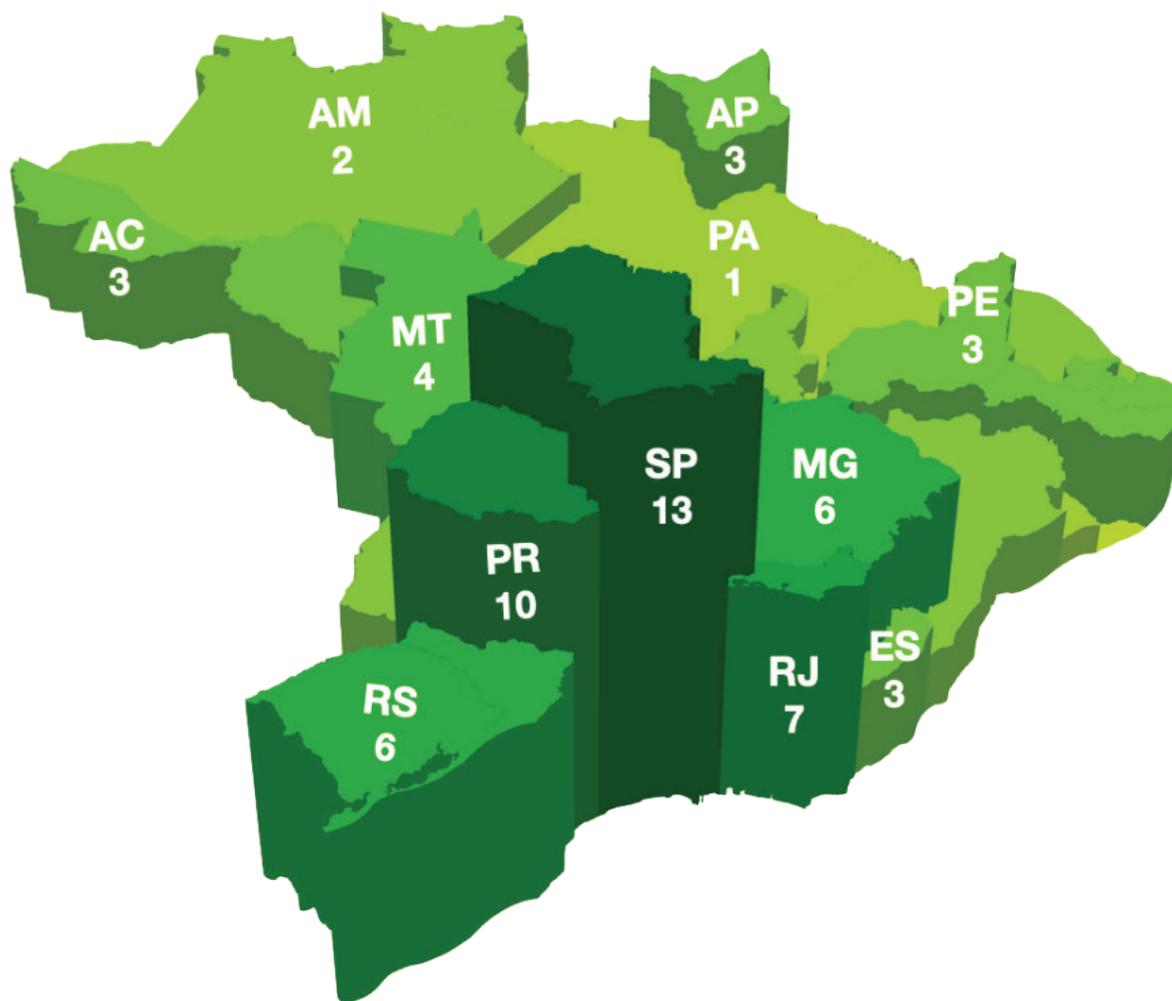


Figura 23- Número de regulamentações estaduais por UF.

(i) Decreto nº 10.240/2020 - Estabelece as metas e prazos para a implementação do sistema de logística reversa para a gestão de REEE no Brasil;

(ii) Decreto nº 10.657/2021 - Juntamente com a Resolução nº 2 de 2021 do Ministério de Minas e Energia, este Decreto estabelece procedimentos para o licenciamento ambiental e estímulo à Política Pró-minerais, estabelecendo os critérios para a definição e listagem dos minerais estratégicos;

(iii) Decreto nº 10.936/2022 - Decreto que substitui o Decreto nº 7.404 de 2010, na regulamentação da PNRS;

(iv) Decreto nº 11.044/2022 - Estabelece os critérios para a configuração do sistema Recicla+ e responsabilidades para a emissão de créditos de logística reversa.

Alguns estados brasileiros já possuíam regulamentação sobre a gestão de resíduos e ainda sobre a gestão de REEE antes mesmo da Política Nacional de Resíduos Sólidos, estabelecida em 2010. A partir dos documentos referenciados é possível verificar a estruturação consistente da regulamentação nacional a respeito da gestão de REEE, iniciando por estados, municípios e capitais mesmo antes da efetivação da PNRS. A Figura 23 evidencia o volume de regulamentações por estado.

Pode-se verificar a prevalência de documentos regulamentadores na região Sudeste e, em especial, os estados de São Paulo e Paraná. Os estados da região Nordeste são os que apresentam menor número de regulamentações sobre o tema.

A Figura 24 apresenta a evolução da regulamentação dos REEE a partir dos documentos municipais e estaduais no

país. Verifica-se que estados como Paraíba e Sergipe apresentaram um perfil de regulamentação reativa no setor por desenvolverem políticas após a implementação da PNRS, ou seja, após 2010. A maioria dos demais estados possuíam regulamentação mesmo antes da PNRS. Os estados da região Norte, por sua vez, apresentam regulamentações quase que exclusivamente anteriores à promulgação da PNRS, podendo indicar discrepância entre os requisitos estabelecidos posteriormente por ocasião da política nacional e outros documentos.

Os estados e municípios brasileiros experimentaram diferentes graus de abordagem quanto às regulamentações para a gestão de REEE, tornando-se necessárias ações coordenadas com o governo federal e a avaliação da inclusão das boas práticas internacionais no setor. A realização de seminários e reuniões com gestores públicas, por ocasião do desenvolvimento do Projeto DATARE, mostraram-se práticas importantes para a difusão do conhecimento e auxílio à implementação dos requisitos legais por aqueles agentes. A estruturação de pontos de coleta nos municípios reflete o comprometimento aos requisitos legais, em especial, o Decreto nº 10.240 de 2020. Conforme apresentado na Figura 25, encontram-se estabelecidos pontos de entrega voluntária (PEV) em diferentes regiões do país.

Apesar de um número significativo de pontos de coleta de REEE instalados no país, esse montante ainda não atende a demanda necessária na maioria das cidades.

A classificação de resíduos no Brasil é feita por meio da norma ABNT NBR 10.004:2004 que se encontra-se em fase de revisão até o ano de 2023 sob a coordenação do comitê téc-

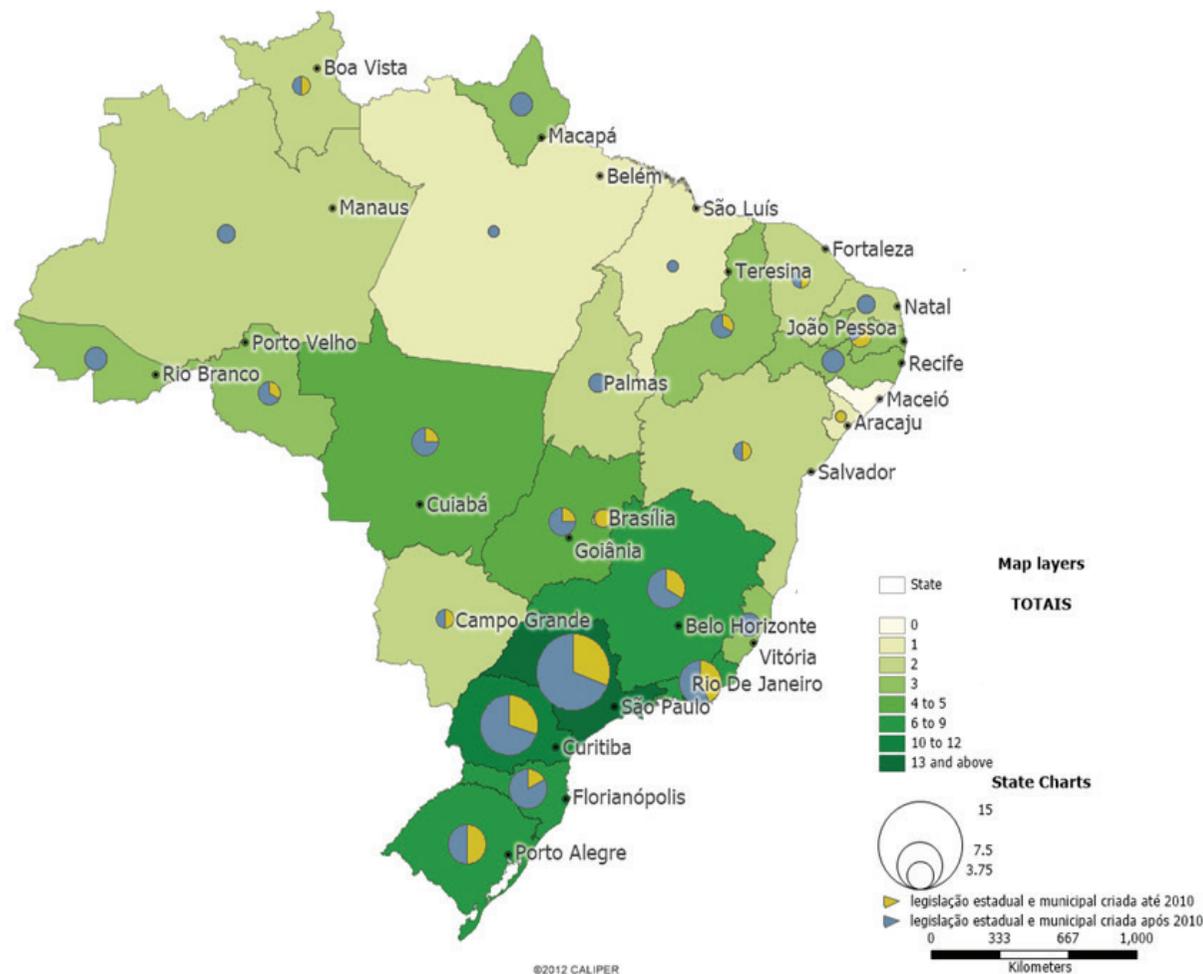


Figura 24- Número de legislações estaduais e municipais por UF com destaque para a regulamentação até 2010 e após 2010.



Figura 25- Pontos de coleta de REEE instalados a partir das entidades gestoras.
(a) ABREE – 1.364 pontos em 576 municípios e o Distrito Federal. (b) GREEN ELETRON – 215 pontos em 77 municípios. Fonte: ABREE (2021) e GREEN ELETRON (2019).

nico CE 246. Uma equipe de pesquisadores do grupo REMINARE/CETEM tem participado das reuniões e acompanhado os grupos de trabalho. Inexistia na versão preliminar menção aos resíduos eletroeletrônicos e a discussão da inclusão levou em consideração o potencial de risco dessa categoria de resíduos, tendo como base as normas específicas do setor.

Nesse sentido, as normas técnicas ABNT NBR 15.833:2018 e ABNT NBR 16.156:2013 consolidam as diretrizes para a gestão de refrigeradores pós-consumo e manufatura reversa de equipamentos eletroeletrônicos, respectivamente. A norma ABNT NBR 16.156:2013 encontra-se em fase de revisão com previsão de conclusão em 2023, também com a participação do grupo REMINARE/CETEM. O anexo A da norma apresenta uma extensa listagem das substâncias potencialmente perigosas na gestão dos REEE e representa o principal documento em vigor atualmente no país. Outro documento normativo que aborda o mesmo assunto é a norma ABNT IEC 63.000, que versa sobre as substâncias restritivas perigosas.

Síntese das normas nacionais relevantes para a gestão de REEE:

- **Norma ABNT NBR 10.004:2004** - CLASSIFICAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS: classifica os resíduos sólidos quanto aos seus potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, para que possam ser gerenciados adequadamente.
- **Norma ABNT NBR 16.156:2013** - RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELETROELETRÔNICOS REQUISITOS PARA ATIVIDADE DE MANUFATURA REVERSA: A norma ABNT NBR 16156 é aplicável a organizações que realizam atividades da cadeia de manufatura reversa de resíduos eletroeletrônicos e estabelece requisitos que

permitem o desenvolvimento de competências para a estruturação de um sistema de gestão voltado ao controle e mitigação das ocorrências de agressões ao meio ambiente e aos trabalhadores envolvidos nos processos de reciclagem de REE. Adicionalmente, trata de requisitos específicos relacionados a responsabilidade por substâncias perigosas, a rastreabilidade dos resíduos recebidos e ao balanço de massa até a disposição.

- **Norma ABNT NBR 15.833:2018** - MANUFATURA REVERSA APARELHOS DE REFRIGERAÇÃO: estabelece os procedimentos para o transporte, armazenamento e desmonte com reutilização, recuperação dos materiais recicláveis e destinação final de resíduos dos aparelhos de refrigeração.
- **Norma ABNT NBR IEC 63.000:2019** – Documentação técnica para a avaliação de produtos elétricos e eletrônicos com relação à restrição de substâncias perigosas (RoHS – Restriction of Hazardous Substances). A Norma objetiva especificar a documentação técnica que o fabricante necessita compilar, de forma a declarar a conformidade com as restrições aplicáveis das substâncias, sob diversos regulamentos mundiais de restrições de substâncias. Ela tem como base a Norma Europeia EN 50581:2012, que, por sua vez, foi base para a Diretiva 2011/65/EU do Parlamento Europeu e do Conselho de 8 de junho de 2011 sobre restrição de utilização de determinadas substâncias perigosas em equipamentos elétricos e eletrônicos RoHS.

À exceção da Norma NBR 10.004:2004, as demais foram elaboradas na Comissão de Estudo CE 003:111.001 – Normalização ambiental para produtos e sistemas elétricos e eletrônicos, do Comitê Brasileiro de Normalização ambien-

tal para produtos e sistemas elétricos e eletrônicos (ABNT/CB-003). A Norma ABNT NBR 15.833 foi revisada em 2018 e a Norma ABNT NBR 16.156 encontra-se em revisão. Ambas foram as primeiras normas no país específicas para REEE.

De forma adicional à normalização técnica, em maior parte inspirada por documentos normativos americanos e europeus, abrangem desde a importante classificação dos resíduos quanto a especificação de mecanismos de gestão e critérios para a certificação. No segmento da gestão de REEE há no Brasil duas normas, a ABNT NBR 16.156:2013 e a ABNT NBR 15.833:2018. Essas normas foram pioneiras no Brasil no segmento de circularidade dos produtos pós-consumo e manufatura reversa e, por permitirem a certificação das empresas que atuam no setor, abriram a discussão sobre o tema. No entanto, apenas duas empresas são atualmente certificadas por essas normas.

Apesar do caráter compulsório das regulamentações e do caráter voluntário das normas técnicas, cabe enfatizar que as normas ABNT NBR 16.156:2013 e ABNT NBR 15.833:2018 são citadas no Decreto nº 10.240 de 2020 e, por este motivo, alcançam posição diferenciada e colocam a obrigatoriedade da certificação dos recicladores por ambas as normas, conforme previsto no Artigo 13:

Art. 13. Integrarão o sistema de logística reversa somente os recicladores que:

I - Obtiverem licença dos órgãos ambientais competentes integrantes do Sistema Nacional do Meio Ambiente - Sisnama;

II - Forem habilitados pelas empresas ou pelas entidades gestoras e, quando necessário, pelos órgãos do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária - SNVS e do Sistema Unificado de Atendimento à Sanidade Agropecuária - Suasa; e

III - Atenderem às normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 16156:2013 e NBR 15833:2018, quando cabíveis.

Entretanto, a norma ABNT NBR 16.156:2013 ultrapassou o período de revisão usualmente previsto entre 2 e 3 anos a partir da publicação de uma norma. Assim, a Comissão de Estudo de normalização ambiental para produtos e sistemas elétricos e eletrônicos do ABNT/CB-03 Comitê Brasileiro de Eletricidade, a CE 03:111 foi retomada em 2022 com a finalidade de revisão da norma. Os trabalhos seguirão em desenvolvimento ainda em 2023 em razão da necessidade de adequação do texto a partir da elaboração de norma semelhante pelo IEC.

Em linhas gerais, as normas técnicas brasileiras buscam incluir critérios de qualidade, saúde e segurança no sentido de aumentar a amplitude para fins de certificação do setor. A legislação na área, por outro lado, tem restringido o escopo. O Artigo 5º, Decreto nº 10.240 de 2010 especifica as tipologias de produtos eletroeletrônicos que não seriam objeto da implementação do sistema de logística reversa, a saber:

I - Produtos eletroeletrônicos e seus componentes de uso não doméstico, incluídos os produtos de uso corporativo e os produtos utilizados em processos produtivos por usuários profissionais;

II - Produtos eletroeletrônicos de origem, uso ou aplicação em serviços de saúde, incluídos os produtos utilizados nas residências (home care);

III - Pilhas, baterias ou lâmpadas não integrantes ou removíveis da estrutura física dos produtos eletroeletrônicos constantes do Anexo I, que constituem objeto de sistemas de logística reversa próprio;

IV - Componentes eletroeletrônicos individualizados e não fixados aos produtos eletroeletrônicos de que trata este Decreto; e (Revogado pelo Decreto nº 10.936, de 2022)

V - Grandes quantidades ou volumes de produtos eletroeletrônicos oriundos de grandes geradores de resíduos sólidos, na forma da legislação municipal ou distrital

O Brasil é precursor na regulamentação da gestão de REEE na América do Sul e se diferencia dos demais países em razão do estabelecimento da responsabilidade compartilhada (BRASIL, 2010), a partir da qual a responsabilidade pela gestão ambientalmente adequada dos produtos ao longo do ciclo de vida se distribui, de forma individualizada e encadeada entre os agentes do SLR. Os países europeus, os Estados Unidos, Canadá, China e Índia, por exemplo, estabeleceram a responsabilidade ampliada do produtor (do inglês, extended producer responsibility – EPR), que implica na responsabilidade do produtor pela destinação ambientalmente adequada dos produtos ao final da vida útil.

Recentemente, os países participantes da elaboração das normas que comporão a normalização da economia circular globalmente por meio do comitê técnico TC 323, estão convergindo para o entendimento de que a economia circular está ancorada na responsabilidade compartilhada (do inglês, shared responsibility). Desta forma, é notório o pioneirismo no Brasil na regulamentação da PNRS. Esse pioneirismo favore-

ceu o amadurecimento da proposta e recentemente o Decreto nº 7.404 de 2010, que regulamentava a PNRS, foi revogado e deu lugar ao Decreto nº 10.936 de 2022 que trouxe uma revisão dos principais conceitos e tem viabilizado o estabelecimento de acordos setoriais e favorecido o estabelecimento de procedimentos eficientes para a gestão de resíduos.

A mineração urbana, consiste como uma ferramenta para a economia circular e não se encontra regulamentada. No entanto, a sua estruturação requer um arcabouço legal e normativo condizente com suas premissas e norteadores. A seguir, são apresentados os principais aspectos da regulamentação e conjunto normativo segundo o escopo internacional e o escopo nacional.

4.3 ESCOPO INTERNACIONAL

Apesar de se verificar diferenças significativas na regulamentação dos países, observa-se a prevalência da responsabilidade ampliada do produtor (EPR) como mecanismo regulamentador. As diretivas europeias tiveram papel fundamental na definição do conceito e orientação a respeito da implementação do modelo nos países-membros. Essa influência da Europa pode ser verificada a partir da regulamentação de países asiáticos, africanos e americanos.

As Diretivas WEEE e RoHS representam os documentos norteadores da regulamentação na Europa. A Diretiva WEEE teve como objetivo a definição da terminologia, estabelecimento das práticas e definição de metas e prazos. A partir dela os países europeus elaboraram regulamentações específicas, obedecen-

do os princípios básicos da diretiva. De forma complementar a Diretiva RoHS estabeleceu os requisitos referentes à fabricação de produtos com a restrição de 10 substâncias potencialmente perigosas, a saber: cromo, mercúrio, cádmio, chumbo, bifenilas polibromadas (PBB), PBDE e ftalatos (DEHP, BBP, DBP, DIBP), conforme a versão RoHS 3 (<https://www.rohsguide.com/>). Os produtos livres dessas substâncias ou com teores permitidos podem ser certificados por laboratórios credenciados.

Países como a Dinamarca aplicam um mix de taxas e sistemas de depósitos para a gestão de embalagens, por exemplo. Os sistemas de depósitos do EPR (Extended Producer Responsibility - EPR), abordam especificamente o modelo de regulamentação que atribui a responsabilidade ao produtor, possuem a vantagem de serem exclusivos para o uso em REEE (coleta, recuperação e disposição final), enquanto as taxas são usadas para os gastos governamentais. Quando se trata de REEE o foco é maior em reciclagem e faltam avanços em medidas de circularidade. O que torna ainda mais importante a destinação exclusiva do recurso. Andersen T. et al. (2020) apontam que, no caso da Dinamarca e sua vizinha Noruega, existe um descompasso entre as diretivas UE e o que as empresas encaram como medidas de circularidade no fim de vida de um produto. A baixa rastreabilidade do fluxo de REEE, que na Europa alcança a taxa de 42,5% de reciclagem documentada (Forti et al., 2020), demonstra que o mesmo ocorre com os demais países.

Outros países fora da UE também aplicam o sistema de EPR, a exemplo de China, Índia e Ghana. A China apresenta um programa pautado no tripé da regulamentação, redução de taxas e incentivos fiscais. Entre 2003 e 2019 foram

promulgadas 3 leis, 38 regulamentações e várias políticas econômicas voltadas para a logística reversa (WANG et al., 2022). Segundo Wang L. et al. (2021), apesar dos avanços na legislação, apenas uma pequena fração dos REEE seguem para a disposição final em acordo com as Normas Chinesas vigentes e que é necessário acrescentar ações punitivas ao reciclador poluidor, ampliar a conscientização e ações de publicidade para fabricantes e comerciantes. Ainda sugere uso de big data, nuvens de informação e estudos futuros em jogos de cooperação entre governo, produtores, recicladores; além de mensurar os fatores que influenciam a intenção do consumidor em reciclar; bem como aumentar os programas de incentivos para recicladoras.

Zhao e Bai (2020) apontam que o modelo de EPR Chinês, concebido em 2012 com um Fundo que coleta de produtores para destinar a recicladores, vem apresentando dificuldades para se manter. Como exemplo, em 2016 o referido Fundo (The 2016 White Paper on WEEE Recycling) havia coletado 2.61 bilhões de Yuan. Em contrapartida, os subsídios do governo chinês às recicladoras naquele ano foi de 4.71 bilhões de Yuan. Além da lacuna de 2.10 bilhões de Yuan, há falta de incentivos aos produtores para investirem em reciclagem de REEE. Outro fundo, o Fund Relief Policy, criado em maio de 2022 como parte de um pacote de 33 medidas de recuperação da economia chinesa pós-covid, poderia motivar os produtores a comportamentos mais “verdes”, melhorar o ganho dos recicladores e aliviar a pressão financeira do governo.

Países como China e Índia também possuem regulamentações similares com o intuito de conferir aderência e harmo-

nização com os requisitos europeus. A norma IEC 63.000 (2018), por sua vez, estabelece os critérios para a qualificação de substâncias restritivas perigosas para o segmento de equipamentos eletroeletrônicos. Esta norma se encontra disponível na versão ABNT NBR IEC 63.000:2019 a partir da tradução por especialistas no Brasil (ABNT, 2019).

Atualmente dois comitês de normalização internacional encontram-se em atividade. O grupo de trabalho TC 111/WG 18 da IEC está elaborando a norma sobre Gestão sustentável de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (do inglês, Sustainable management of waste electrical and electronic equipments - e-waste).

O segundo grupo de trabalho é o TC 207/SC 5/JWG 14 da ISO que propõe a regulamentação sobre materiais secundários (do inglês, secondary materials). Este segundo comitê resultará em uma norma global sobre a obtenção e gestão de materiais secundários a partir de estoques antropogênicos, ou seja, materiais e produtos pós-consumo, possuindo aderência com os princípios de circularidade e com a proposta da mineração urbana.

Ambos os comitês têm agenda prevista para conclusão dos trabalhos até início de 2024 e contam com a participação de grupos brasileiros, como a Confederação Nacional da Indústria (CNI), FIESP, FIRJAN, indústrias, universidades e o Centro de Tecnologia Mineral (CETEM).

Cabe destaque para as seguintes normas internacionais.

A norma ISO/IWA 19:2017 - Guidance principles for the sustainable management of secondary metals: A norma aproveitada a abordagem da economia circular para garantir equidade social e justiça ambiental, ao apresentar a relevância da reciclagem de metais para a garantia de recursos para as gerações futuras. É um guia de princípios que descreve impactos, impacto social, comunidades afetadas, trabalho infantil, cadeia de custódia, atividades de subsistência, entre outros.

Encontra-se em elaboração a norma IEC 63.395 no Comitê Técnico TC 111, Grupo de Trabalho WG 18 intitulado Gestão Sustentável de resíduos elétricos e equipamentos eletrônicos - REEE (E-waste sustainable management of waste electrical and electronic equipment) da Comissão Internacional Eletrotécnica IEC (International Electrotechnical Commission). A referida Norma IEC tem como objetivo principal apresentar os requisitos para a gestão sustentável de REEE os trabalhos têm previsão de conclusão em meados de 2023.

Outra norma em elaboração é a ISO 59.014 a partir dos trabalhos em conjunto do (Joint Working Group) JWG14 no âmbito do Comitê Técnico (Technical Committee) TC 323 da ISO. A Norma teve início no Comitê Técnico TC 207 sobre gestão ambiental e foi requerida por integrantes do TC 323. Desta forma, é o único grupo de trabalho que integra dois comitês técnicos sobre o assunto. É um trabalho de negociação multilateral, com integrantes de vários países como Suíça, Brasil, Ilhas Maurício, Japão, Suécia, África do Sul, Índia, Peru, Estados Unidos, Alemanha e outros. A Norma objetiva a gestão ambiental de materiais secundários, seus princípios, sustentabilidade e requisitos de rastreabilidade (Environ-

mental Management – SECONDARY MATERIALS – Principles, Sustainability and Traceability Requirements).

Na América Latina, os países mais avançados em legislação sobre economia circular são: Chile, Colômbia e Equador.

No Chile, as regulamentações sobre gestão de REEE são:

Ley N.º 20.920, del 9 de agosto de 2016, que establece el Marco para la Gestión de Residuos, la Responsabilidad Extendida del Productor y el Fomento del Reciclaje, del Ministerio del Medio Ambiente (MMA)

- Decreto N.º 298/2005, del 25 de noviembre de 1994, Reglamenta Transporte de Cargas Peligrosas por Calles y Caminos, del Ministerio de Transporte y Telecomunicaciones. Decreto Supremo N.º 148/2003, que aprueba Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos, del Ministerio de Salud.
- Ley N.º 19.300, del 1 de marzo de 1994, Sobre Bases Generales del Medio Ambiente, del MMA.
- Decreto Supremo N.º 1/2013, MMA, Reglamento del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes, RETC.
- Decreto 298/2006 aprueba reglamento para la certificación de productos eléctricos y combustibles, Ministerio de Economía.

O Equador apresenta um marco jurídico e normativo amplo em torno dos resíduos perigosos e produtos químicos, inclusive a leis secundárias específicas, a exemplo de celulares.

Cabe destaque:

- Acuerdo Ministerial N.º 026 “Procedimientos para Registro de generadores de desechos peligrosos, gestión de desechos peligrosos previo al licenciamiento ambiental y para el transporte de materiales peligrosos” publicado en el Registro Oficial N.º 334 de 12 de mayo de 2008.
- Acuerdo Ministerial N.º 142 “Listado nacional de sustancias químicas peligrosas y desechos peligrosos”, publicado en el Registro Oficial N.º 856 de 21 de diciembre de 2012.
- Acuerdo Ministerial N.º 190 “Política Nacional de Post consumo de Equipos Eléctricos y Electrónicos en Desuso” publicado en Registro Oficial 29/01/2013.
- Acuerdo Ministerial N.º 191 “instructivo de aplicación del principio de responsabilidad extendida establecido en el reglamento para la prevención y control de la contaminación por sustancias químicas peligrosas, desechos peligrosos y especiales, para equipos celulares en desuso” publicado en Registro Oficial 29/01/2013.
- Código Orgánico del Ambiente (COA) publicado en el Suplemento del Registro Oficial N.º 983 de 12 de abril de 2017.
- Reglamento al Código Orgánico del Ambiente, Decreto N.º 752, publicado en el Registro Oficial N.º 507 de 12 de junio de 2019. El Código Orgánico del Ambiente (COA) de 2017 consolida el marco normativo nacional ambiental dentro de un mismo documento. El objetivo es garantizar y proteger los derechos de

las personas a vivir en un ambiente sano y equilibrado desde el punto de vista ecológico. El Código también regula varias cuestiones ambientales a nivel nacional. El Título IV del tercer libro relativo a la calidad ambiental estableció los principios para la gestión integral nacional de las sustancias químicas.

Na Colômbia, a Política Nacional de REEE foi promulgada em 2017, a partir da Ley 1.672 de 2013. De acordo com a legislação Colombiana, a gestão e coleta de REEE é compartilhada entre Produtores (fabricantes e importadores) com o apoio dos comerciantes e consumidores. Apesar de não existir regulamentação global, já existe regulamentação para 3 categorias de resíduos:

- Computadores y periféricos (Resolución 1512 de 2010)
- Lámparas/bombillas ahorradoras (Resolución 1511 de 2010)
- Pilas y acumuladores portátiles (Resolución 1297 de 2010)

5. ESTADO DA ARTE DA MINERAÇÃO URBANA DE REEE

A partir da última plenária do TC 323, economia circular foi definida como “sistema econômico que utiliza uma abordagem sistêmica para manter o fluxo circular dos recursos, por meio da recuperação, retenção ou adição de seu valor, enquanto contribui para o desenvolvimento sustentável.”

Os princípios da economia circular norteiam a estruturação de sistemas para a recuperação, adição e retenção de valor por meio da recuperação de bens pós-consumo ou materiais. Tais sistemas podem contar com diferentes ferramentas, dentre as quais pode-se exemplificar a mineração urbana e a logística reversa. A economia circular propõe a transição de uma economia linear para um processo cíclico, onde os produtos, materiais ou resíduos são potencialmente reinseridos na cadeia produtiva (Cossu e Williams, 2015).

O fluxo sequencial apresentado retrata a proximidade entre diferentes setores produtivos, em relações simbióticas e alinhadas com a transição para a economia circular. A integração entre os atores que fazem parte da cadeia da gestão de resíduos eletroeletrônicos precisa ser estruturada e alinhada, para que suas atividades sejam coordenadas buscando a otimização dessa cadeia. Os atores envolvidos nesta cadeia, são elos que precisam adequar os processos produtivos aos novos paradigmas da economia circular, transformando os resíduos em insumos produtivos.

Na operacionalização da Logística Reversa, todos os atores da cadeia (fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, consumidores e titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos) possuem funções específicas e devem atuar de maneira corresponsável e encadeada para que os resíduos tenham um gerenciamento social,

ambiental e economicamente adequado. O fluxo causal proposto na Figura 26 permite a avaliação da interação entre os diferentes agentes que atuam no sistema de recuperação de valor a partir da proposta de mineração urbana dos REEE.

Este circuito fechado representa a relação interativa e coordenada entre os atores que fazem parte desta cadeia. Os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, por exemplo, devem tomar todas as medidas necessárias para assegurar a implantação e operacionalização do Sistema de Logística Reversa. Já os consumidores devem acondicionar e desfazer-se adequadamente dos resíduos. Desta forma, para o funcionamento adequado e eficiente do Sistema de Logística Reversa é essencial não só planejamentos e processos contínuos de avaliação e melhoramento, como também a determinação de papéis e funções para os diversos atores envolvidos na cadeia.

Cabe ressaltar que a mineração urbana pressupõe a recuperação de materiais secundários e não compreende soluções de prolongamento da vida útil com reuso de produtos e componentes pós-consumo. Desta forma, a mineração urbana compreende diferentes processos tecnológicos com a finalidade de reinserção de materiais secundários em cadeias produtivas, preservando as reservas naturais e representando importante opção para a manutenção e processos produtivos e obtenção de materiais críticos ou estratégicos. A partir da mineração urbana, é possível recuperar recursos por meio da recuperação de materiais, incluindo minerais críticos e/ou estratégicos (Xavier et al., 2021; Prodius et al., 2019; Romare e Dahllöf, 2017; Tesfaye et al., 2017). A seguir são apresentadas e discutidas as principais soluções tecnológicas aplicáveis à mineração urbana a partir dos REEE.

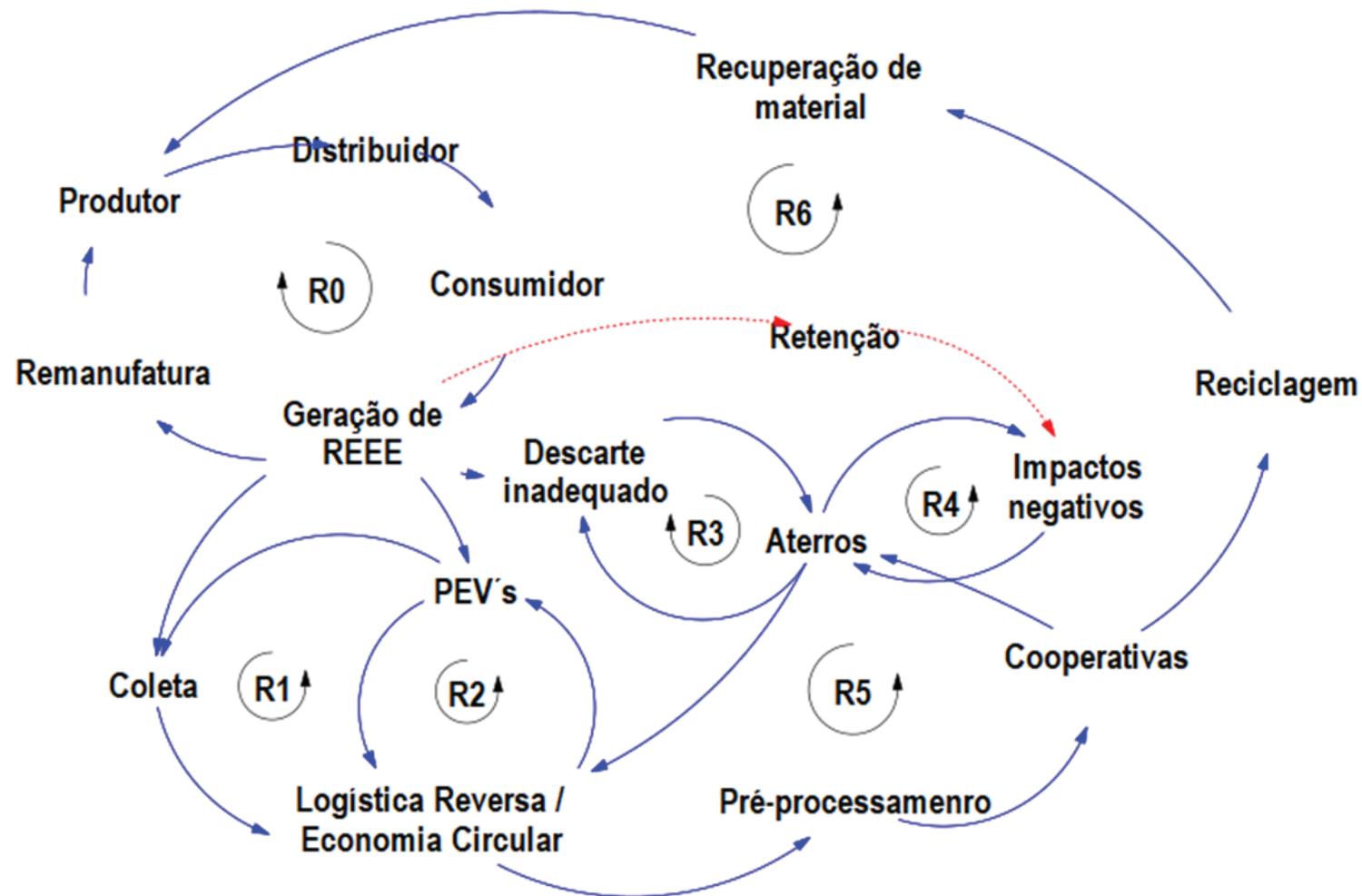


Figura 26- Relação entre os atores da cadeia da gestão dos resíduos eletroeletrônicos.

5.1 SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS

As rotas de processamento de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) precisam levar em consideração a composição heterogênea dos equipamentos; a presença de substâncias tóxicas e perigosas e a presença desses elementos críticos, estratégicos e valiosos. A diversidade de tipologias de materiais presentes nos REEE (Vats e Singh, 2014) denota a importância de integração das cadeias produtivas e, da mesma forma, dos processos reversos que possibilitarão a recuperação de materiais secundários (Figura 27).

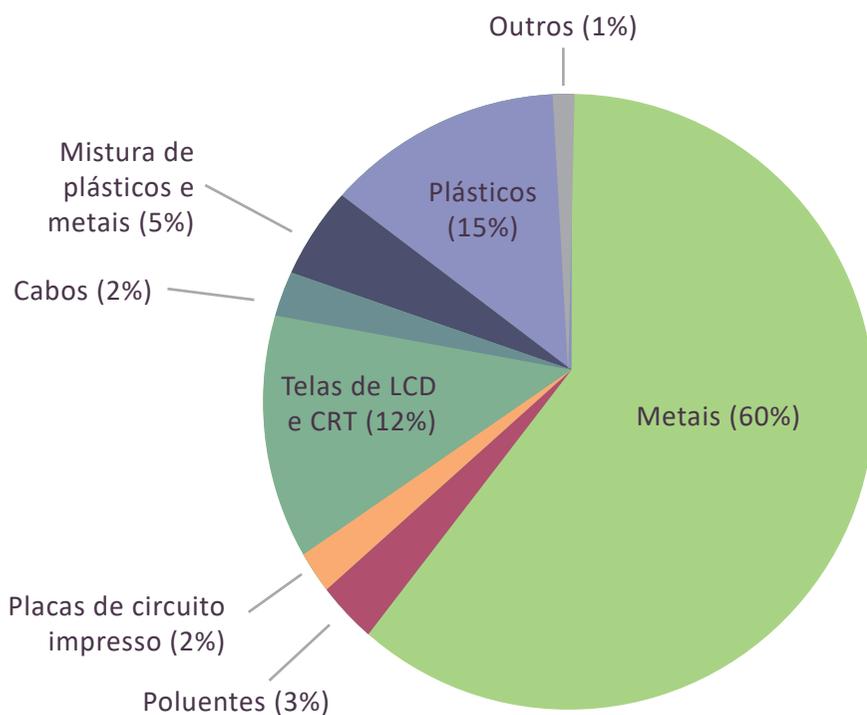


Figura 27- Composição média dos equipamentos eletroeletrônicos.
Fonte: Vats e Singh, 2014.

Desta forma, a mineração urbana pode ser uma fonte potencial para a recuperação de diferentes materiais valiosos, em sua maior parte de origem metálica e polímeros plásticos. No entanto, para que a mineração urbana seja considerada viável, deve haver dados e informações detalhadas e significativas sobre seus atributos como localização, tamanho, concentração de materiais e recursos a serem prospectados e fluxos de produtos.

Diferentes técnicas possibilitam a sua recuperação, e parte dessas técnicas são adaptadas de processos minero-metalúrgicos tradicionais, usualmente utilizados na cadeia primária de obtenção de matérias. A reciclagem de REEE pode ser descrita pertencendo a três grandes áreas, podendo combinar técnicas quando necessário, sendo elas: hidrometalurgia, biohidrometalurgia e pirometalurgia (Figura 28).

Um grande diferencial no processo de recuperação de materiais secundários a partir de REEE é a etapa de desmontagem (preserva a possibilidade de remontagem) ou desmantelamento (não permite a remontagem). A seguir são apresentados os principais processos para a recuperação de produtos e componentes (técnicas não destrutivas) e materiais (técnicas destrutivas).

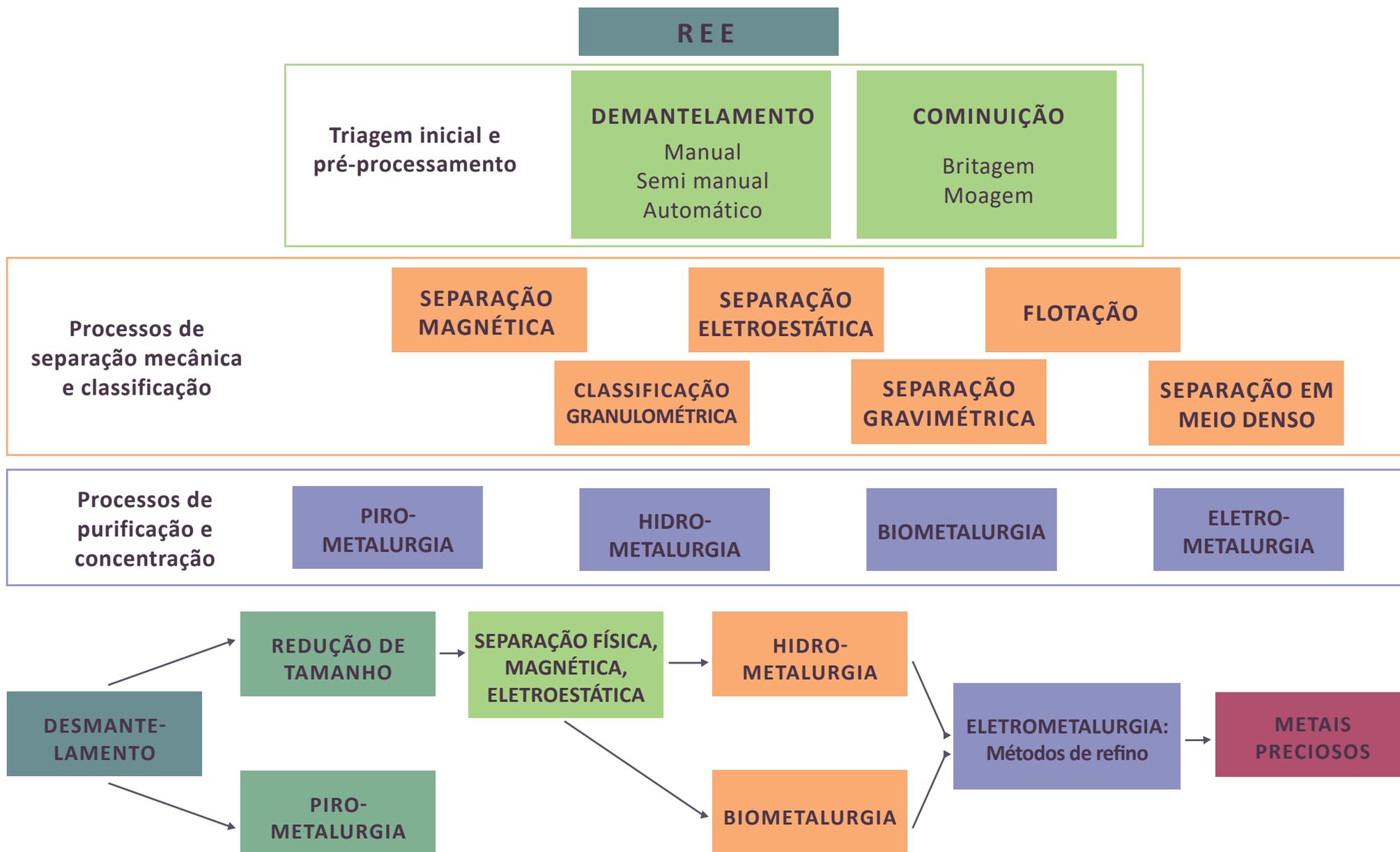


Figura 28- Rota de recuperação de materiais secundários a partir de REEE.

5.1.1 Processos não-destrutivos

Consistem em atividades para a consolidação e concentração de volumes que viabilizem os processos de recuperação de produtos ou componentes pós-consumo, ou ainda como etapas preliminares para a obtenção de materiais secundários.

Coleta

A coleta pressupõe o descarte a partir do usuário e, para tanto, é importante identificar os fatores motivadores para o descarte que podem considerar, por exemplo: defeito operacional, obsolescência, falta de peças de reposição ou peças incompatíveis.

O estabelecimento de pontos e estratégias de coleta devem estar desvinculadas de flutuação do valor de comercialização do material e priorizar um mínimo de flexibilidade na infraestrutura para a estocagem, de forma a minimizar os custos.

Desmontagem

A desmontagem é o ponto diferencial na rota de processamento para recuperação de peças, partes, componentes ou produtos a partir de etapas não destrutivas. Neste procedimento são realizadas etapas sequências e possíveis de remontagem.

Em casos específicos, onde peças e produtos são compostos por um único tipo de material (monomateriais), a desmontagem pode resultar na recuperação de um único material como, por exemplo, dissipadores de calor feitos totalmente em liga de alumínio ou chapas de aço de gabinetes de computadores.

Separação e triagem

Procedimento para identificação de produtos por categorias estabelecidas e avaliar o potencial de recuperação de produtos, componentes e materiais. As técnicas manuais não mecanizadas podem apresentar elevado nível de eficiência em comparação com técnicas automatizadas de volumes com alta diversidade de materiais. Por exemplo, a separação de peça, partes e componentes de monitores CRT podem ser realizados de forma segura e eficiente de forma manual. Por outro lado, a segregação de SIM card é melhor desenvolvida por mecanismos com automação básica em grandes volumes.

Para as técnicas manuais, no entanto, devem estar especificados os requisitos de segurança e saúde por meio de documentos legais e normativos próprios.

Verificação

Identificação das categorias de equipamentos com a identificação de modelo, número de identificação única como, por exemplo, o número de série (serial number).

Equipamentos cuja marca ou fabricante não podem ser identificados (cinza ou órfãos) ainda são considerados nas métricas de coleta e processamento em diferentes países. No entanto, as regulamentações tendem a coibir a inclusão dessa categoria de produtos.

Monitoramento e rastreabilidade

O núcleo de um sistema de logística reversa é o monitoramento e a rastreabilidade em suas etapas. A documentação e acompanhamento devem ser realizadas por pessoal qualificado e de forma a possibilitar a verificação por partes.

Encontram-se em desenvolvimento a partir do IEC TC 111 procedimentos certificáveis específicos para o setor de eletroeletrônicos, considerando a recuperação de materiais e reuso de equipamentos e componentes. No Brasil as normas técnicas da ABNT possuem os requisitos para a certificação.

Qualificação e capacitação

O estabelecimento de processos de qualificação e capacitação dos agentes envolvidos nas etapas logísticas consistem em uma etapa que requer o estabelecimento de um currículo mínimo a ser cumprido pela força de trabalho, observando-se as boas práticas de saúde e segurança.

5.1.2 Processos destrutivos

Técnicas que possibilitam a recuperação e concentração de materiais secundários.

Desmantelamento

Processo de separação de frações maiores com o propósito de segregação por tipologias sem, no entanto, permitir a remontagem de produtos, peças, partes ou componentes.

Nessa etapa ocorre a separação seletiva de componentes de interesse, valiosos e/ou tóxicos. Com baixo custo de im-

plantação, o desmantelamento pode ser realizado de forma manual, semiautomática ou automática. Apesar de fácil operação, o tempo para realização da atividade pode ser longo, caracterizando uma desvantagem do processo. No entanto, a separação cuidadosa permite a reutilização de partes e componentes ainda em estado de uso e um melhor direcionamento do material para as etapas seguintes de recuperação do metal de interesse.

Apesar de parecer simples, a separação dos componentes pode ser considerada como ponto chave no ganho de eficiência para recuperação de metais. A facilidade de desmontagem do equipamento, tanto para reparo e upgrade, quanto para a separação dos materiais na etapa de reciclagem deve ser considerada desde o projeto inicial (design sustentável ou ecodesign).

Cominuição

A etapa de cominuição permite a liberação dos materiais de interesse. Os equipamentos comumente utilizados são britadores, para partículas maiores, e moinhos, quando se deseja uma granulometria menor. Apesar de ser um processo consolidado na mineração tradicional, a cominuição apresenta algumas desvantagens, sobretudo um elevado consumo energético. Em geral os equipamentos eletroeletrônicos são triturados sem uma desmontagem e separação prévias, resultando em um material muito heterogêneo, com baixa eficiência na recuperação de materiais.

No entanto, a rota de recuperação de metais via hidrometalurgia ou biometalurgia requer que o material apresente grande superfície de contato, o que leva a etapa de cominuição a ter

uma importância significativa no processo. Quanto menor a granulometria do material, maior será a área superficial.

Concentração

O processo de concentração visa, após a fragmentação, a separação dos materiais em frações metálicas e não metálicas. Desta forma permite-se a identificação das frações e um correto direcionamento para a etapa de recuperação dos metais de interesse. A recuperação das frações metálicas e não metálicas possui sua eficiência atrelada a fatores de forma, dimensão e distribuição granulométrica das partículas. A concentração de resíduos eletroeletrônicos, pode incluir diversos métodos de separação, passando pela classificação granulométrica (peneiramento), separação em meio denso, flotação, separação magnética, separação eletrostática e separação gravítica.

A separação magnética permite que através da aplicação de um elevado campo magnético as partículas sejam separadas em frações ferromagnéticas e não-ferromagnéticas. A separação pode ser realizada por via úmida ou seca, em baixo campo ou alto campo. No que tange os resíduos eletroeletrônicos, a rota seca costuma ser a operação mais utilizada.

Considerando as características de condutividade elétrica e resistência, os materiais podem ser segregados através da separação eletrostática.

A separação gravítica baseia-se na resposta a força da gravidade e/ou movimento oferecido por um fluido, que serão atrelados a densidade, tamanho e forma das partículas.

5.1.3 Processos pirometalúrgicos

A rota pirometalúrgica visa a concentração do metal de interesse através de reações envolvendo altas temperaturas, para fundir ou “queimar” materiais, de forma a reduzir e extrair metais.

A capacidade de operação em grande escala é uma das vantagens desse processo, assim como, não há necessidade de um pré-tratamento dos resíduos, como ocorre em outras rotas metalúrgicas. Nesse cenário, a rota pirometalúrgica é capaz de receber qualquer tipo de resíduo, no entanto a presença de retardadores de chamas halogenados podem levar a formação de dioxinas, furanos, poluentes orgânicos polibromados entre outras substâncias tóxicas.

Apesar de não precisar de pré-tratamento dos materiais, a eficiência na conversão/ recuperação de metais não atinge aos níveis conseguidos pelas rotas hidrometalúrgica ou biometalúrgica, principalmente pelas perdas em escória. O alto custo para recuperação de metais em baixo teor configura uma das desvantagens do processo, assim como a impossibilidade de recuperação de plásticos.

Plantas industriais de pirometalurgia apresentam um elevado custo de instalação, dependem de um alto consumo energético. Durante a pirólise ocorre a remoção de material orgânico, sendo decomposto em gases, óleos e carvão, produtos esses que podem ser convertidos em combustível para retroalimentar o processo.

Entre os diversos processos de pirometalurgia estão incluídos: (i) smelting (fusão), (ii) combustão e (iii) pirólise.

No smelting, resíduos eletrônicos são alocados a uma fornalha junto com cobre ou sucata de chumbo com a finalidade de fundi-los e originar um produto fundido (contendo os metais de interesse, como Cu, Pb, Ni, Au, Ag e Pd) e uma escória (rejeito do processo). Técnicas de eletrometalurgia assim como de hidrometalurgia auxiliam a finalização do processo, de modo a concentrarem os metais de interesse dispersos no meio fundido.

Na combustão de REEes, partes orgânicas desses componentes são submetidas à incineração, a fim de se obter o metal de interesse. Quando não controlada, pode gerar a liberação de metais pesados e compostos retardantes de chama, que impactam negativamente o meio ambiente, contribuindo com sua poluição.

Ao contrário da combustão, que ocorre em uma atmosfera rica em oxigênio, a pirólise ocorre em uma com baixa concentração do gás, em que ocorre a degradação térmica dos resíduos envolvidos. Diferentemente do smelting e da combustão, na pirólise a parte polimérica não é perdida e, sim, transformada em compostos de menor massa molecular (EBIN & ISIK, 2016).

No processo pirometalúrgico a fase metálica fundida apresenta a maior concentração de metais, enquanto os oxidados se concentram na escória. Para extrair os metais de interesse, etapas subsequentes de refinamento (eletrolise) são necessárias.

O estudo de Awasthi e Li (2019) destacou que uma abordagem híbrida de tratamento pode oferecer uma solução sustentável e mais eficiente para a recuperação de metais pela reciclagem do um único tipo de técnica. Nesse caso, segundo os autores, combinação entre reciclagem mecânica, incluindo

do desmontagem, com biometalurgia se enquadraria como uma das mais promissoras opções, necessitando, contudo, de mais estudos para o melhoramento das técnicas e aumento de eficiência. Para Kaya (2019), a fundição é um processo energointensivo ($> 1200^{\circ} \text{C}$), o investimento inicial e os custos de energia são muito altos. Dessa forma, a separação físico-mecânica (gravidade, magnética e eletrostática) pode garantir a separação das frações metálica e não metálica e, quando combinadas com tratamento hidrometalúrgico, oferecem uma metodologia alternativa econômica, ecológica e mais sustentável com relação à pirometalurgia.

5.1.4 Processos hidrometalúrgicos

A hidrometalurgia é utilizada na separação e purificação dos metais. A rota hidrometalúrgica apresenta vantagens comparadas ao processo pirometalúrgico principalmente devido à redução tanto no consumo energético, quanto na emissão de gases tóxicos. Adicionalmente, a recuperação dos metais de interesse se mostra mais eficiente, precisa (seletiva) e controlada no processo hidrometalúrgico.

Na hidrometalurgia, metais presentes em resíduos são dissolvidos em soluções por agentes lixiviantes. ácidos ou alcalinos (como o cianeto, ácidos sulfídrico, nítrico e sulfúrico, tiosulfato, tiourea e haleto, etc). O processo ocorre na interface líquido/sólido e para que ocorra é necessário que o material apresente grande superfície de contato, tornando necessária a etapa de fragmentação. O tamanho da partícula irá influenciar na eficiência e velocidade de extração pois quanto meno-

res as partículas, maior será a área superficial impactando na quantidade de solvente utilizado

Após a etapa de lixiviação, o material de interesse deverá ser recuperado através de técnicas de separação e concentrações tais como: filtração, adsorção, extração por solvente e precipitação de impurezas, troca iônica, cementação. Na sequência, as soluções são submetidas ao refino eletrolítico ou eletrodeposição-obtenção de forma a recuperar os metais dissolvidos. (ASHIQ et al., 2019).

Apesar do menor impacto ambiental comparado à pirólise, o uso e descarte de agentes lixivantes pode resultar em um elevado volume de efluentes residuais, ácidos e alcalinos, e resíduos sólidos.

5.1.5 Processos biometalúrgicos

A biohidrometalurgia utiliza microrganismos, como bactérias, fungos e algas, para a extração de metais de determinado substrato, convertendo-os em sais solúveis em meio aquoso. Ela se divide em biolixiviação e biossorção. Na primeira, os microrganismos oxidam ou liberam agentes oxidantes para a solubilização dos metais. Na segunda, pelo processo físico-químico de bioacumulação, organismos não precisam estar vivos para interagirem e extraírem metais de substratos, por se tratar de um fenômeno passivo (KIDDEE et al., 2020).

Com aplicação simples e eficiente, a rota biometalúrgica apresenta baixo custo de instalação em comparação à piro-metalurgia e por utilizar catalisadores naturais, o processo

biometalúrgico não emprega reagentes tóxicos, apresentando economia de insumos básicos e baixo consumo energético.

Por outro lado, a biometalurgia depende da manutenção e condicionamento de microrganismos por longos períodos e o processo biológico é lento e o tempo de processo elevado configura uma limitação ao método.

Assim como em outras rotas metalúrgicas, uma vez em solução, o refinamento pode ser feito através do processo de eletrólise.

De forma promissora, vislumbra-se a combinação dos processos de biolixiviação e biossorção como uma tecnologia mais limpa capaz de suprir a necessidade de reagentes tóxicos e geração de resíduos na recuperação de minerais valiosos.

5.1.6 Processos eletrometalúrgicos

Os processos eletrometalúrgicos utilizam corrente elétrica de forma para a separação e refino de metais. O processo pode ser realizado em meio aquoso, promovendo a redução dos metais em solução (baixa temperatura) ou em sais fundidos (alta temperaturas).

A rota eletrometalúrgica para obtenção de metais provenientes de resíduos se divide em eletrorrefino e eletro-obtenção. O primeiro método é utilizado na purificação de metais, quando o íon metálico a serem recuperado encontram-se misturados com outros elementos. A eletro-obtenção compreende os processos de lixiviação que contenham os metais de interesse.

Presente na etapa final dos processos pirometalúrgicos e hidrometalúrgicos, a eletrometalurgia se apresenta como uma

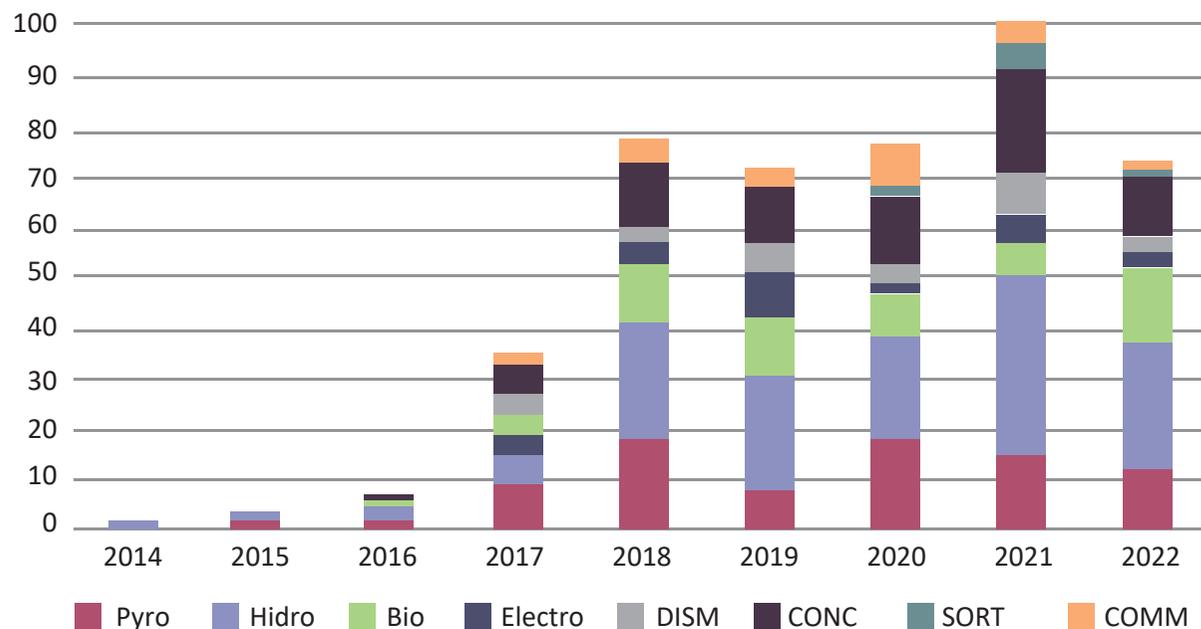


Figura 29- Soluções tecnológicas identificadas no estudo bibliométrico.
Legenda: PYRO – pirometalurgia; HYDRO – hidrometalurgia; BIO – biometalurgia; ELECTRO – eletrometalurgia; DISM – desmantelamento; CONC – técnicas de concentração; COMM – cominuição.

via interessante com geração de impacto ambiental consideravelmente menor que nas demais rotas citadas. A emissão gasosa nos processos que recorrem a eletrólise é significativamente menor que a emissão gasosa proveniente da pirometalurgia, assim como o consumo energético é consideravelmente inferior. Apesar de ocorrer a emissão de efluentes devido as etapas de solubilização/lixiviação inerentes ao processo, essa ocorre de forma reduzida se comparada à geração dos efluentes produzidos pela via hidrometalúrgica, caracterizando-a como uma vantagem do processo.

5.1.7 Impacto das soluções tecnológicas

Uma busca preliminar sobre as soluções tecnológicas para a mineração urbana foi realizada a partir da base de dados resultante do estudo bibliométrico. O gráfico a seguir apresenta o número de publicações triado através de algumas palavras-chave relativas aos processos tecnológicos (Figura 29). Cabe ressaltar que alguns artigos apresentam diversas técnicas e, portanto, apresentam mais de uma das palavras-chave.

A partir da análise é possível verificar que os processos tradicionais de extração mineral são também aplicados na mineração urbana e que os processos que utilizam o metabolismo de microrganismos para a recuperação de frações metálicas, os bioprocessos, são mais recentes e, por isso, totalizam um quantitativo menor de resultados para a busca realizada.

Todas as técnicas de recuperação de matéria secundária a partir de REEE através da mineração urbana dependem da con-

		PIRO-METALURGIA	HIDRO-METALURGIA	BIO-METALURGIA	ELETRO-METALURGIA
	Ineficiência de recuperação de metais	Alto	Médio	Médio	Médio
	Custo de implementação	Alto	Médio	Médio	Médio
	Custo de operação	Alto	Médio	Médio	Médio
	Mão de obra	Médio	Médio	Alto	Médio
	Consumo de energia	Alto	Médio	Médio	Médio
	Consumo de água	Médio	Alto	Alto	Médio
	Demanda de volume	Alto	Médio	Médio	Médio
	Tempo de processo	Médio	Médio	Alto	Médio
	Emissões gasosas	Alto	Médio	Médio	Médio
	Impacto ambiental	Alto	Médio	Médio	Médio

Alto
Médio
Baixo

Figura 30 - Comparação entre as principais técnicas utilizadas na recuperação de materiais secundários a partir de REEE.

Fonte: Elaboração própria.

solidação de um volume mínimo que garanta a viabilidade técnica e econômica do empreendimento. A Figura 30 apresenta um resumo propositivo a partir das características das principais técnicas minero-metalúrgicas utilizadas na recuperação de materiais secundários através da reciclagem de REEE.

5.2 ANÁLISE ESTRATÉGICA E OPERACIONAL

O diagnóstico sobre a mineração urbana de REEE no Brasil poderá contribuir para a efetividade dos mecanismos regulatórios, ampliar a certificação no setor por meio da implementação de normas técnicas, viabilizar as soluções tecnológicas, bem como possibilitar a rastreabilidade do sistema como forma de garantir a eficiência e conformidade para a transição para a economia circular. Desta forma, a proposta requer a abordagem de diferentes áreas e a análise sob a perspectiva dos diferentes agentes que contribuem para a gestão em conformidade com os requisitos legais e os recursos tecnológicos disponíveis.

A análise do arcabouço legal e normativo evidencia o pioneirismo do Brasil na estruturação de um quadro regulamentador competente no quesito de gestão de resíduos, com a definição da logística reversa e obrigatoriedade da implementação dos SLR, com o estabelecimento das metas e prazos entre os anos de 2021 e 2025.

Os principais comitês de regulamentação e normalização no âmbito nacional e internacional têm pontuado a importância da harmonização dos escopos para viabilizar os fluxos logísti-

cos e a rastreabilidade. Desta forma, seria possível acompanhamento dos volumes transportados e processados em diferentes regiões e países. Em certa medida, essa iniciativa se cumpre na regulamentação brasileira entre os estados e a federação. No entanto, as normas técnicas e regulamentações internacionais possuem requisitos ainda não contemplados no país, como por exemplo a regulamentação da economia circular, o desenvolvimento de normas sobre materiais secundários e o reconhecimento dos serviços ambientais prestados pelo setor informal.

A evolução do conceito de resíduo que, em razão do potencial de recuperação de valor por meio da recirculação de produtos remanufaturados ou pela obtenção de materiais secundários por meio da mineração urbana. A recuperação de valor pode ser favorecida ou limitada em razão da disponibilidade de infraestrutura ou soluções tecnológicas compatíveis.

As técnicas tradicionais de metalurgia são aplicáveis à recuperação de materiais a partir dos REEE. Assim, a maturidade das tecnologias de metalurgia extrativa representa um aspecto positivo da mineração urbana. Por outro lado, a consolidação de volumes de REEE para tornar os processos economicamente viáveis ainda são um desafio a ser equacionado.

O levantamento bibliográfico realizado no estágio inicial da pesquisa evidencia a profusão de técnicas tradicionais e o avanço dos bioprocessos aplicados à recuperação de materiais a partir dos REEE. Desta forma, os dados serão analisados de forma direcionada, com vistas a identificar as técnicas mais eficientes a partir da análise de indicadores sociais, ambientais, tecnológicos e econômicos.

A atuação dos diferentes agentes para a implementação dos SLR, apesar de estabelecida por meio dos instrumentos regulatórios, possui potencial de sinergia com vistas a ampliar os resultados pretendidos. A atuação de associações e cooperativas de catadores, por exemplo, apesar de ser na condição de formalidade, possui baixa rastreabilidade e confiabilidade. Diante desses e outros aspectos, a avaliação da integração de processos, formalização e verificação de ações serão considerados para a análise das soluções tecnológicas (Produto 2) e apresentação de análise propositiva (Produto 3), como sequência de produtos do projeto MINARE.

Outro aspecto relevante é a análise das terminologias empregadas por diferentes estudos com vistas a identificar as práticas em vigor no país e as soluções potencialmente aplicáveis, considerando-se os requisitos legais, infraestrutura tecnológica e aspectos logísticos.

5.3 ESTRUTURA DE SISTEMAS DE RECUPERAÇÃO DE VALOR

A estruturação dos sistemas de recuperação de valor utilizou o conceito de ações para a circularidade que tem como base a elaboração das normas ISO sobre economia circular, a série 59.000.

É proposta a divisão das ações em três áreas básicas. A primeira baseada na recuperação de valor a partir de produtos e componentes, a segunda área focada na recuperação de materiais a partir de técnicas destrutivas e a terceira baseada em serviços. As respectivas ações são detalhadas na sequência.

(i) Reuso - Consiste em ações que possibilitem a recuperação de valor a partir de técnicas não-destrutivas, considerando ações como: inspeção visual, verificação, limpeza, teste, desmontagem, recondiçãoamento, reparo, remanufatura, classificação e triagem.

(ii) Reciclagem – Composto por técnicas destrutivas focadas na recuperação de materiais secundários a partir da transformação física ou química dos produtos ou materiais por meio de ações como: desmantelamento, prensagem, corte, extrusão, decapagem, trituração, moagem, cominuição, lixiviação, caracterização e pirólise.

(iii) Serviços – Considera soluções de recuperação de valor que podem possibilitar a recuperação tanto de produtos e componentes pós-consumo, quanto materiais secundários por meio, por exemplo, da gestão da informação, destruição de marcas e dados,

estruturação de banco de dados, análise de fluxo de materiais, estrutura de codificação para identificação e balanço de massa.

As empresas atuantes na gestão de resíduos, de modo geral, são identificadas como organizações de reciclagem, com soluções que podem ter o enfoque de reuso, processo de transformação ou apenas serviços. Assim, a partir da análise da atuação na Tabela 14 são apresentados exemplos de empresas, as áreas de recuperação de valor e os respectivos sistemas com a finalidade de especificar a diversidade de áreas e respectivas ações para a recuperação de valor a partir da gestão dos REEE.

Verifica-se que a cadeia de suprimentos reversa para a gestão

EMPRESA	ÁREA	AÇÕES
Circular Brain	Serviço	Sistema informatizado para gestão da informação, análise de fluxo de materiais e apoio à decisão
Indústria FOX	Reuso e reciclagem	Reparo, recondiçãoamento, remanufatura, recuperação de gases (CFC), recuperação de óleo lubrificante, recuperação de materiais secundários
Sintronics	Reciclagem	Desmantelamento, segregação, trituração, destruição de marcas e dados e recuperação de materiais secundários
Umicore	Reciclagem	Desmantelamento, segregação, caracterização, trituração e recuperação de materiais secundários
Tramppo	Reciclagem	Desmantelamento, segregação, caracterização, trituração, recuperação de materiais secundários e destinação
Zero impacto logística reversa e gerenciamento de resíduos LTDA	Serviço	Coleta e destinação de resíduos não perigosos
STERICYCLE GESTAO AMBIENTAL LTDA	Serviço	Coleta e destinação de resíduos perigosos
GM&C	Serviço e reciclagem	Comércio atacadista de resíduos e sucatas metálicos. Processamento de plástico, frações metálicas e polímeros
SOLVI ESSENCIS AMBIENTAL S.A.	Serviço	Serviços de coleta, segregação, transporte e exportação
VERTAS - Gerenciamento e transformação de resíduos	Serviço	Comércio atacadista de resíduos e sucatas metálicos

Tabela 14 - Áreas e respectivas ações do sistema para a recuperação de valor no setor de gestão de resíduos eletroeletrônicos.

dos REEE pressupõe a atuação integrada entre empresas que atuam nas diferentes áreas, como mecanismo para a sustentação e manutenção das ações que compõem os sistemas. No entanto, na prática, as empresas ainda desconhecem a diversidade de seus parceiros, clientes e fornecedores.

A integração entre os agentes da cadeia ainda não se consolidou e os esforços parecem concentrados em atender as demandas de regularização documental e atendimento aos requisitos legais como as metas, sem uma visão mais estratégica dos novos modelos de negócio que se formam. De certa forma, o reconhecimento dos serviços ambientais prestados por associações e cooperativas de catadores ainda não são legitimados pela sociedade ou por maior parte das empresas que atuam no setor.

Outro aspecto relevante identificado é o desconhecimento sobre o potencial de exploração dos recursos. Poucas empresas possuem iniciativas para a conciliação da infraestrutura com a os mecanismos para a captação de REEE e acabam relatando dificuldades para a consolidação de volumes. Após o estabelecimento da empresa os gestores buscam mecanismos para aumentar a captação de volume e acabam se deparando com desafios como: fornecedores informais e até mesmo em condição de ilegalidade; flutuação do valor de comercialização do material recuperado, exigindo flexibilidade na infraestrutura para a estocagem; desconhecimento dos requisitos legais em diferentes estados nos quais venham a atuar, além do baixo grau de previsibilidade dos volumes coletados para processamento, fator de alto impacto para a definição dos custos operacionais.

Neste ponto, a dinâmica de sistemas pode representar graficamente a relação entre esses elos da cadeia da gestão dos REEE, os quais são chamados de variáveis, explicando as relações diretas e indiretas entre essas variáveis. Sendo assim, é possível perceber as estruturas causais e as interações entre essas variáveis. (Figura 31).

A falta de uma gestão integrada dos resíduos eletroeletrônicos pode resultar em potenciais impactos ambientais, sociais e econômicos. A visualização dos agentes e respectivas conexões que fazem parte desse sistema, tem como objetivo possibilitar a análise sistêmica e auxiliar processos decisórios, como também contribuir para o desenvolvimento e aprimoramento de políticas públicas.

A utilização da dinâmica de sistemas permite verificar e analisar as competências de cada elo que integra essa cadeia de REEE, bem como compreender a complexidade desse sistema e suas interações. As possíveis interações entre os agentes na gestão de REEE é evidenciada na Figura 31. A economia linear, que considera as etapas de exploração dos recursos naturais, produção, consumo e descarte denotam relações menos complexas. Enquanto a proposta da economia circular, com a recuperação de produtos e materiais evidencia maior complexidade e maior diversidade de agentes atuando nas etapas de coleta, pré-processamento, reparo, remanufatura, logística reversa e demais atividades.

As taxas de reuso, reinserção ou índice de retenção são importantes indicadores para a avaliação das fontes potenciais de recursos secundários. Em estudo desenvolvido para este

diagnóstico, com 1.236 respondentes, foi evidenciado o índice de retenção equivalente a 85,8%, ou seja, esse percentual da população possui algum equipamento eletroeletrônico fora de funcionamento estocado em sua residência. Maior parte dos equipamentos corresponde a pilhas e baterias (53,4%), telefonia (43,1%), computadores (39,9%) e lâmpadas (30,6%). O descarte em pontos de reciclagem é a primeira opção dos respondentes, com 57,5% de respostas, enquanto comercializar o REEE e manter guardado seguem com 14,5 e 10,2%, respectivamente. Maiores detalhes da pesquisa são apresentados no Apêndice II.

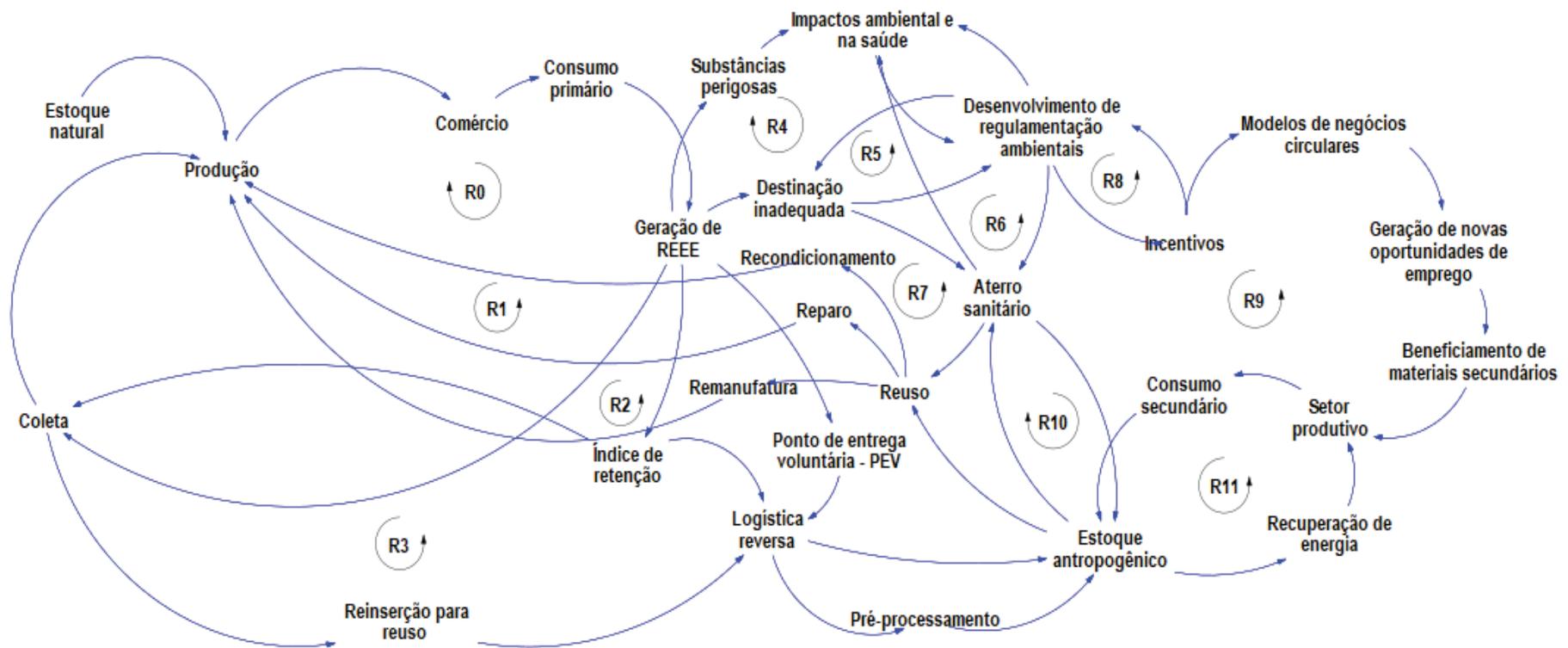


Figura 31- Loop causal dos agentes que pertencem a cadeia da gestão de REEE.

5.4 ASPECTOS ECONÔMICOS

A base UN Comtrade é um banco de dados sobre o fluxo comercial internacional entre mais de 170 países e gerenciado pela Organização das Nações Unidas. As Figuras 32 a 34, a seguir, apresentam dados do Comtrade para o código HSN 8548: Resíduos e sucata de células primárias, baterias primárias e acumuladores elétricos; pilhas primárias usadas, baterias primárias usadas e acumuladores elétricos usados; partes elétricas de máquinas ou aparelhos.

Podemos observar que a Europa é prioritariamente importadora de REEE, apresentando uma forte redução na exportação desses resíduos a partir de 2018. A China é a maior exportadora dessa classe de REEE (HSN 8548), mas as importações têm crescido nos últimos anos, tendo atingido valores bem próximos aos da exportação em 2021. Essa tendência de crescimento na importação de REEE não é observada para os EUA, cujas exportações superam em muito as importações de REEE (Figura 33).

O comércio internacional de REEE é menor a partir do Brasil quando comparado com países como China, Europa e EUA, mas também apresenta uma tendência de queda na exportação e aumento na importação de REEE.

O gráfico 34 apresenta dados de exportação e importação de REEE pelo Brasil. A China é principal parceiro comercial tanto para exportações quanto para importações, a Bélgica somente importa REEE do Brasil, os EUA exportam mais do que importam REEE do Brasil. Cabe ressaltar a presença da Argentina entre os países que exportam REEE para o Brasil.

A crescente geração de REEE, atribuída aos avanços tecnológicos e ao consumo, ainda representa um grande desafio para os países que desejam implementar estruturas e mecanismos para a gestão dos REEE, a fim de obter dados consolidados sobre a destinação inadequada desses resíduos. Por esta razão, é importante ter informação sobre os resíduos gerados e recolhidos, per capita e globalmente, dos continentes (Tabela 15), dado que nem todos os resíduos recolhidos são reciclados, para desenvolver estratégias para remover uma possível valorização por meio da mineração urbana.

É possível verificar na Tabela 16, que a Ásia representa o principal continente gerador de resíduo eletroeletrônico do mundo, gerando 24,9 Mt, impulsionado pela China e Índia, com uma geração total de 10,13 e 3,2 Mt, respectivamente. Apesar de serem países populosos, a geração de REEE, per capita, é relativamente baixa nesses países asiáticos em comparação com as taxas de geração per capita da Noruega (26 kg) ou Reino Unido (23,9 kg) em 2019. A China gera cerca de 7,2 kg e a Índia 1,5 kg de resíduos eletrônicos per capita no mesmo período (Forti et al., 2010). Isso demonstra que, apesar da diferença em suas respectivas populações, a falta de um marco legal pode representar um obstáculo para apoiar a gestão do resíduo eletroeletrônico. Enquanto a geração de REEE per capita é três vezes maior na Europa do que na Ásia, a geração total deste tipo de resíduo na Ásia é o dobro da geração europeia.

Os sistemas de responsabilidade estendida do produtor visam tornar os produtores responsáveis pelos impactos ambientais de seus produtos em toda a cadeia de produtos, desde o design até a fase de fim de vida. No entanto, no Brasil é

Dados UN Comtrade Brasil (HSN Code 8548)

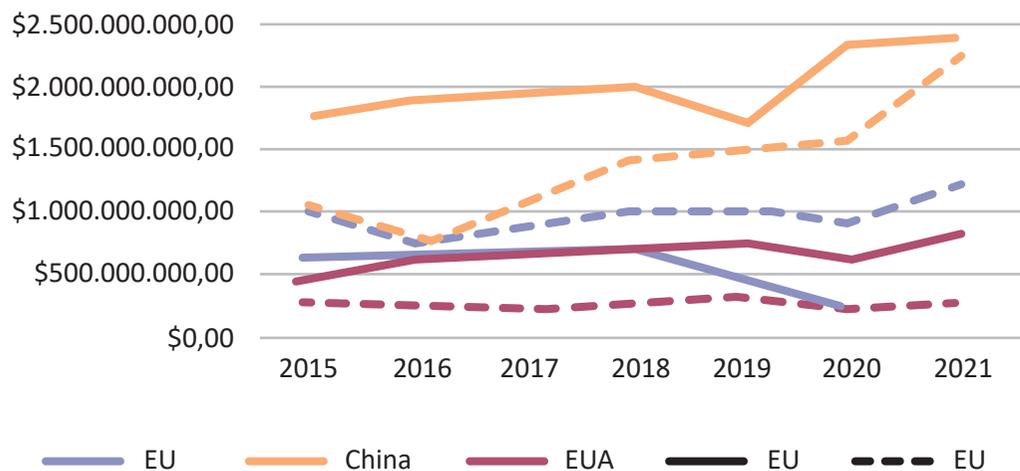


Figura 32- Dados sobre comércio internacional, importação e exportação de REEE.
Fonte: UN Comtrade.

Dados UN Comtrade Brasil (HSN Code 8548)

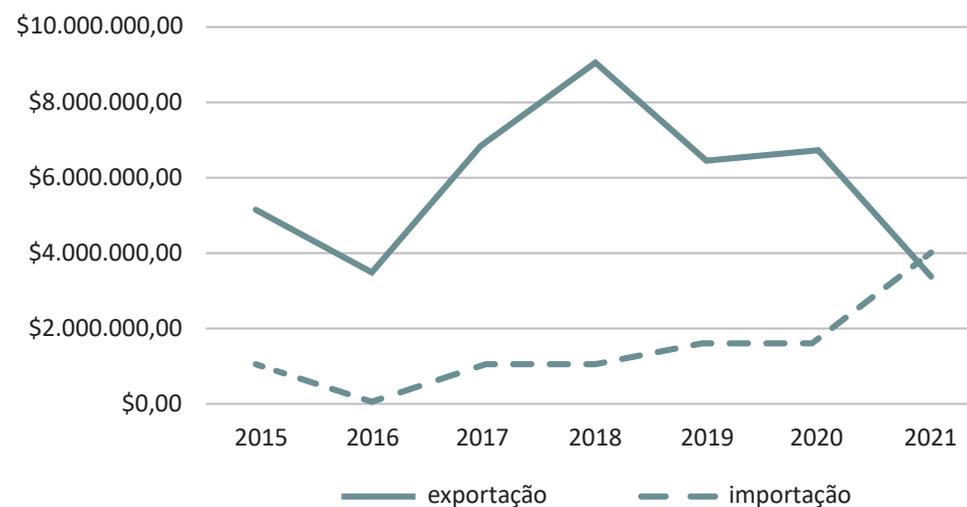


Figura 33- Dados sobre importação e exportação de REEE a partir do Brasil.
Fonte: UN Comtrade.

Dados UN Comtrade Brasil - Exportação

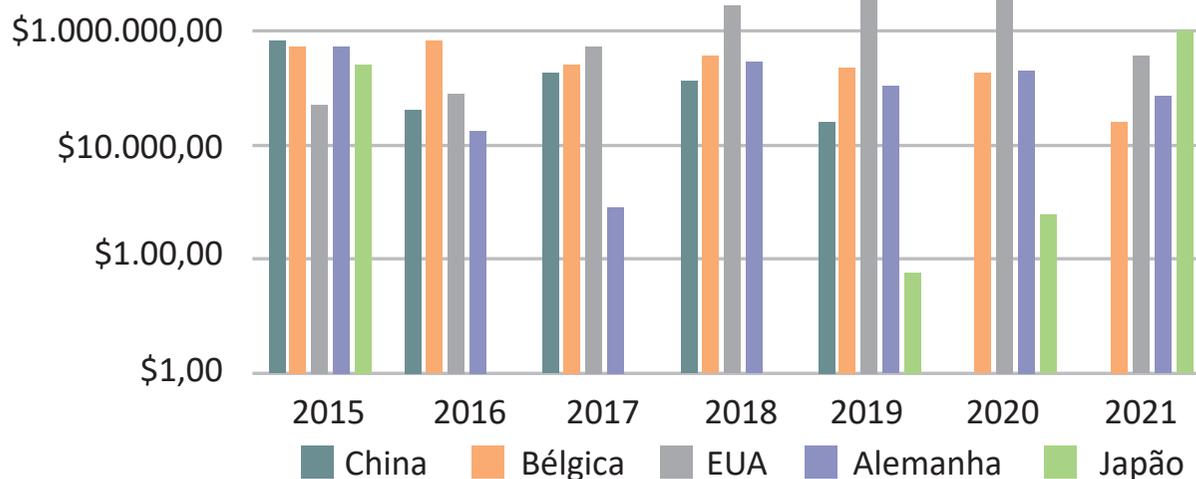


Figura 34- Países destinatários da exportação brasileira de REEE.

Fonte: UN Comtrade.

Tabela 15 - Geração de REEE per capita no mundo.

REGIÃO	POPULAÇÃO (MILHÕES)	REEE (KG PER CAPITA)	TOTAL E-WASTE (MT)
África	1.152	2.5	1.2
Américas	984	13.3	13.1
Ásia	4.445	5.6	24.9
Europa	740	16.2	12
Oceania	42	16.1	0.7

Fonte: Elaborado a partir de dados do Global e-waste monitor, 2020.

responsabilidade compartilhada, de acordo com o conceito de responsabilidade compartilhada apresentado pela PNRS estabelece um prazo para a correta destinação dos resíduos desperdício. A PNRS estabelece a responsabilidade compartilhada na gestão do REEE, ou seja, no Brasil a responsabilidade é dividida entre os agentes do sistema, que são: indústria, importadores, distribuidores, comerciantes e consumidores. (XAVIER et al, 2012).

O relatório Global E-Waste Monitor (Forti et al., 2020) estima em 57 bilhões de dólares o valor a ser obtido a partir da recuperação de materiais valiosos por meio do processamento dos REEE em todo o mundo. A análise considerou os principais materiais críticos com significativo valor de mercado, tais como ferro, cobre e ouro. No entanto, apenas 17,4% dos REEE são recuperados e estima-se que cerca de 10 bilhões de dólares são efetivamente recuperados de forma ambientalmente adequada.

As bolsas de Shanghai e a London Metal Exchange são as principais referências de dados sobre as cotações de commodities para o mercado internacional. Apesar da variação significativa dos valores ao longo do tempo, verifica-se uma estabilidade dos valores em relação às duas fontes pesquisadas. Metais valiosos como níquel, lítio, estanho e prata também são considerados materiais críticos, ou seja, com maior risco de suprimento e com alto valor de mercado. O lítio, em particular, possui uma tendência de aumento em razão de sua aplicação na fabricação de baterias, importante insumo no processo de transição energética sustentável (Tabela 16).

Tabela 16 - Valor de cotações de commodities (US\$/tonelada).

COMMODITIES	BOLSA DE SHANGHAI ¹	LONDON METAL EXCHANGE ²
Alumínio	2.366,00	2.367,50
Chumbo	2.107,50	2.130,00
Cobre	7.987,00	8.041,00
Estanho	22.028,00	22.238,00
Níquel	25.570,50	26.100,00
Zinco	2.928,50	2.918,00
Cobalto	-	51.955,00
Lítio (hidróxido)	-	84.800,00
Ouro ³	1.753,50	-
Paládio	1.821,78	1.895,00
Platina	985,35	991,00
Prata	21.440,00	-
Sucata aço	-	553,50

Fonte: Bolsa de Shanghai e London Metal Exchange, valores para dezembro de 2022. Valores não encontrados identificados por "-".

¹ Bolsa de Shanguai (<https://br.investing.com/commodities/metals>)

² LME – London Metal Exchange (<https://www.lme.com/Metals>)

³ Unidade em onça Troy

Tabela 17 - Valores comerciais e peso líquido de exportação de resíduos contendo metais preciosos do Brasil em 2021.

CÓDIGO	ORIGEM	DESTINO	U\$	VOLUME (KG)
HS 71121	Brasil	Mundo	\$602.552.542,00	12.133.802
HS 7112	Brasil	Bélgica	\$216.915.245,00	3.408.720
HS 7112	Brasil	EUA	\$190.611.511,00	2.525.316
HS 7112	Brasil	Holanda	\$56.356.087,00	1.651.137
HS 7112	Brasil	Coréia	\$51.197.855,00	247.669
HS 7112	Brasil	Alemanha	\$26.304.149,00	1.921.591
HS 7112	Brasil	Japão	\$23.341.329,00	1.132.494
HS 7112	Brasil	Canadá	\$13.649.833,00	77.607

Fonte: UN Comtrade.

1 NCM 7112- Desperdícios e resíduos de metais preciosos ou de metais folheados ou chapeados de metais preciosos (plaquês); outros desperdícios e resíduos que contenham metais preciosos ou compostos de metais preciosos, do tipo utilizado principalmente para a recuperação de metais preciosos.

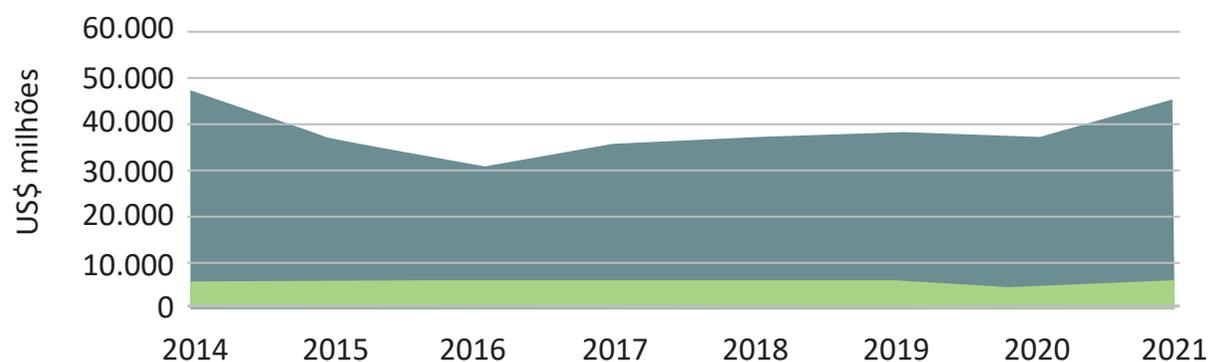


Figura 35- Exportações e importações de equipamentos de eletroeletrônicos.

Fonte: SECEX/ME, CNI- Confederação Nacional da Indústria e IBGE/Agregação ABINEE, 2022

Em recente relatório da Organização Mundial da Saúde (OMS) (WHO, 2021a) é mencionado que cerca de 18 milhões de crianças e adolescentes atuam no setor informal e, parte desses, no processamento de resíduos. A Organização Internacional do Trabalho (ILO, 2015) estabelece que participam da economia informal: trabalhadores autônomos, membros de cooperativas e unidades de economia solidária, trabalhadores informais e trabalhadores em relações de trabalho não reconhecidas ou regulamentadas.

A partir de dados apresentados por outro relatório da OMS (WHO, 2021b) estima-se que até 2030 haverá um aumento global de 70% na geração de empregos relacionados à gestão de resíduos, que hoje emprega cerca de 64 milhões de pessoas em todo o mundo. O mesmo relatório ainda aponta o risco do estabelecimento de áreas informais de processamento de resíduos eletrônicos a partir da contaminação de áreas adjacentes com potencial de exposição a mais de 1.000 substâncias perigosas como chumbo, mercúrio, níquel e retardantes de chama.

A crescente geração de resíduos eletrônicos, juntamente com a condição de subsistência existente, em especial, nos países em desenvolvimento tem incentivado a consolidação de estruturas de coleta e pré-processamento de materiais.

Desta forma, a recuperação de valor a partir da gestão de REEE deve considerar tanto o valor econômico dos materiais críticos e valiosos, quanto o potencial de risco dos materiais perigosos. O equilíbrio desta equação ainda está longe de ser alcançado na medida em que os REEE ainda não possuem canais eficientes para conscientização do consumidor para o descarte ambiental-

mente adequado, coleta de volumes significativos para viabilizar técnicas. A Tabela 17 apresenta os valores e o peso líquido de resíduos contendo metais preciosos exportados do Brasil em 2021.

A categoria dos equipamentos eletrônicos compreende uma significativa diversidade de produtos e equivale no Brasil a cerca de 4% do PIB (Araújo et al., 2012). Valor expressivo e que reflete a importância do setor. A Figura 35 e a Tabela 18 apresentam dados econômicos relativos ao setor de equipamentos eletroeletrônicos. Os valores evidenciam a expressividade da importação frente a produção nacional. Para os anos de 2020 e 2021 o volume de exportações chegou a superar a produção em oito vezes e um faturamento total superior a 200 bilhões de reais em 2021.

Tabela 18 - Desempenho econômico do segmento de equipamentos eletroeletrônicos.

ANO	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Faturamento (R\$ bilhões)*	153,8	142,5	129,4	136	146,1	153	173,2	211,3
Faturamento (US\$ milhões)*	65,3	42,7	37,2	42,6	40	38,8	33,6	39,2
Exportações (US\$ milhões)**	6.552	5.912	5.615	5.844	5.860	5.631	4.478	5.746
Importações (US\$ milhões)**	41.158	31.435	25.587	29.633	31.756	32.034	31.792	40.185
Saldo (US\$ milhões)	-34.606	-25.523	-19.972	-23.789	-25.896	-26.403	-27.314	-34.439

* Fontes: IBGE e Banco Central - BACEN/Aggregação ABINEE, 2022

** Fontes: SECEX/ME, CNI - Confederação Nacional da Indústria e IBGE/Aggregação ABINEE, 2022

6. ESTUDOS DE CASO

A seguir é proposta a abordagem de estudos de caso de empresa com contribuição para a mineração urbana de REEE no Brasil.

6.1 INDÚSTRIAS DE RECICLAGEM

UMICORE

Com sede na Bélgica, a Umicore é uma empresa multinacional de tecnologia de materiais e reciclagem. Tem como meta desenvolver, produzir e reciclar materiais, buscando permitir circularidade para metais críticos, acelerar a transformação da mobilidade global e atender à crescente necessidade de materiais avançados.

Líder na fabricação de materiais base para produção de baterias recarregáveis, é um dos principais players no processamento de resíduos complexos contendo metais preciosos. A empresa emprega 11 mil colaboradores em operações comerciais, industriais e de P&D, com unidades distribuídas por vários países. Em 2021, o grupo gerou uma receita de vendas de EUR 12,7 bilhões em 2021.

Nas plantas de Americana, Guarulhos, Joinville e Manaus, a Umicore produz catalisadores automotivos, compostos de metais nobres, produtos e processos para galvanoplastia e atua na recuperação, reciclagem e refino de metais.

A Umicore Bélgica é referência mundial no processamento de REEE, incluindo placas de circuito impresso (PCI), a partir das quais refina e recupera mais de 17 tipos de metais. A unidade em Hoboken recebe REEE de diversos países em todo o mundo. O processo combina técnicas de pirometalurgia e

hidrometalurgia, antecedidas por etapas de amostragem e análise da composição do material a ser processado.

A reciclagem de baterias de íons de lítio é outra área de atuação da Umicore. O processo tem início com a desmontagem segura de baterias industriais e automotivas e segue para a pirometalurgia, onde a bateria é transformada em um liga metálica contendo cobalto, níquel lítio e cobre. Os metais são separados por hidrometalurgia e retornam à cadeia produtiva em grau de pureza adequado para a produção de novas baterias de íons de lítio.

A Umicore Brasil, se transformou num ponto de recebimento, processamento, quantificação de metais e exportação dos REEE (sobretudo placas de circuito impresso) para refino na Bélgica.

INDÚSTRIA FOX

A indústria Fox começou a atuar em 2010 com o foco inicial na produção de matéria-prima secundária e na proteção climática com a eliminação de emissões de gases de efeito estufa (GEEs) e substâncias destruidoras da camada de ozônio (SDOs) decorrentes da reciclagem inadequada de aparelhos de refrigeração.

A indústria recebe e processa equipamentos que contenham GEEs e SDOs, tais como: equipamentos de refrigeração (refrigeradores, freezers, condicionadores de ar, ar-condicionado automotivo) e máquinas industriais. A planta em Cabreúva possui tecnologia pioneira para tratar adequadamente os clorofluorcarbonos - CFCs, hidroclorofluorcarbonos - HCFCs e hidrofluorcarbonos – HFCs.

A Fox realiza a reciclagem de equipamentos de refrigeração em conformidade com a norma ABNT 15.833/2010. Em uma pri-

meira etapa ocorre a captação de óleo e gás do circuito de refrigeração; seguida da captação dos gases presentes no isolamento térmico, com trituração total do equipamento em ambiente hermeticamente. Ao final ocorre a destruição seguida de transformação dos gases coletados nas etapas anteriores. O processo de reciclagem garante os insumos para a produção própria de uma linha de materiais de isolamento e de um lubrificante multiuso.

A reciclagem dos eletroeletrônicos não refrigerados segue a norma ABNT 16.156:2013 e a Lei 12.305:2010 e é realizada em etapas manuais e mecanizadas para desmontagem, trituração e descaracterização, incluindo uma etapa de flotação para reciclagem de plásticos.

O centro de remanufatura da Fox em Cabreúva fica em um terreno de 44.000 m² com área de 20.000m² de movimentação e um espaço de + 10.000 m² de produção e armazenamento.

Contando com mais de 200 colaboradores e 10 centros de consolidação em 10 estados no Brasil, a Fox deve lançar em 2023 a segunda unidade fabril. Com esse lançamento a capacidade instalada será de mais de 50.000 toneladas. Em 2024, com uma terceira unidade fabril, a capacidade instalada será de mais de 80.000 toneladas.

Em 10 anos de operação no Brasil, a Fox já processou mais de 60.000 toneladas de materiais reciclados, a partir de 1,5 milhões de equipamentos processados. Comercializa crédito de carbono a mais de 10 anos com alto grau de adicionalidade no mercado europeu: tendo destruído 1,8 milhões toneladas de CO₂eq no processo inovador de destruição de CFC's.

A Fox busca o desenvolvimento de processos que permitem o reuso, remanufatura, reparo de componentes e produtos, atua nos processos de reaproveitamento de materiais e produtos no mercado B2B, com o conceito de re-engenharia de qualidade e tecnologia. Nesse sentido outra área de atuação da empresa é a remanufatura. A Fox atua na re-operação de eletrodomésticos, reparando equipamentos que foram devolvidos pelos consumidores em garantia (pós-consumo), retornando o equipamento em condições de venda para o fabricante.

SOLVÍ

Com mais de 40 anos de experiência no mercado, o Grupo Solví é uma empresa socioambiental, presente no Brasil, Bolívia, Peru e Argentina. O grupo possui área de atuação voltada para o tratamento, destinação e valorização de resíduos, empregando mais de 15 mil colaboradores.

Com um dos maiores parques tecnológicos, no Brasil são 9 plantas que tratam de eletroeletrônicos e catalisadores. Em 2021 foram 12,6 milhões de resíduos tratados, gerou 408.865 MWh/ano através do biogás do aterro, atingindo 590 mil habitantes através dessa geração de energia, gerou crédito de carbono no aterro (18.418.707). Foram 1.090 toneladas de sucata eletrônica enviadas para refino, recuperando 738kg Ag, 95kg Au, 20kg Pd, 199.661kg Cu. O Grupo conta com mais de 70 unidades de valorização de resíduos e 150 bases operacionais no Brasil.

A empresa trabalha em parcerias para (i) tratar as baterias de lítio (ii) reinserir plástico recuperado na cadeia de produção (parceria com fabricante de plástico)

O Grupo Solví possui uma plataforma que garante a rastreabilidade do processo do início ao fim e possui projetos de conscientização do consumidor.

GM&C

A GM&C foi fundada, em 2002. Localizada na cidade de São José dos Campos possui infraestrutura em mais de 10 mil m² de área, conta com 163 colaboradores e atua nos segmentos: automotivo, eletroeletrônico, telecomunicações, energia solar, farmacêutico e aeroespacial.

A empresa tem capacidade de processamento de 30 mil toneladas de REEE por ano (2022) e produziu em 2021 um volume de 4.300 toneladas de materiais processados, a estimativa para 2022 é de produção de 7.000 toneladas de material processado.

A empresa possui seus processos baseados nas melhores práticas e nos requisitos Resolução Conama nº 401, da Política Nacional de Resíduos Sólidos e a norma ABNT NBR 16.156:2013.

O maior volume de REEE é proveniente das regiões Sul e Sudeste do Brasil, com destaque para São Paulo, Minas Gerais e Curitiba, com 27 hubs nas principais capitais e mais de 15 mil pontos de coleta e recebimento. Possui logística com frota própria e especializada.

Atua em diferentes segmentos de equipamentos eletroeletrônicos e investe em pesquisa e inovação. O sistema informatizado permite transparência, conectividade em tempo real com clientes e parceiros, bem como o balanço de massa e rastreabilidade da destinação dos resíduos, monitoramento de todas as etapas dos processos e de indicadores de desempenho. Entre

os parceiros, podem-se relacionar a Umicore, Gerdau, Nexa, FBM, entre outras 60 empresas homologadas pela área ambiental da empresa. Atua com ferramentas de qualidade, na busca incondicional da excelência operacional ou melhoria contínua, por meio do JIT, Kaizen, 6 Sigma e outros.

O sistema GM&CLOG 4.0 é uma plataforma que informa sobre as etapas de agendamento, coleta, armazenagem, triagem, manufatura reversa, extração de materiais (plásticos e metais), encaminhamento para parceiros de refino ou de transformação. Em seu sistema, o cliente pode consultar o certificado de manufatura reversa, laudo fotográfico de todo o processo, comprovando a destruição e certificado de destinação final junto aos recicladores finais.

A empresa é certificada pela ISO 14.001, ISO 45.001 e em fase de Certificação da R2. Um dos segmentos pioneiros da empresa é o segmento de logística reversa de pilhas pós-consumo, o que a torna líder no segmento no Brasil. Em maio de 2021, a empresa já havia gerenciado mais de 1,8 (hum milhão e oitocentos quilos) de pilhas pós-consumo. A partir do Balanço Ecológico de 2021 a empresa informa que seus processos contribuíram para a manutenção da qualidade ambiental, a partir de indicadores que consideram aspectos relacionados ao impacto da indústria produtora e extração de recursos. Desta forma, o balanço informa que 32.332 árvores deixaram de ser cortadas, 8 bilhões de kWh foram economizados, 47 milhões de litros de água foram preservados e 982 toneladas de CO₂ deixaram de ser emitidos.

A GM&C possui diversas tecnologias na separação de metais finos de partes e peças de produtos eletrônicos. Os processos

incluem a trituração de REEE, granulação de chips (1 a 8mm), separação de materiais por densidade, por indução, por eletrostática, separador de Eddy Current. O REEE é transformado em matéria-prima para introdução na cadeia produtiva.

VERTAS

A Vertas começou a operar, em 2009 e atua, em todo o território nacional, em projetos, serviços e soluções, para o gerenciamento e tratamento de resíduos tecnológicos, descomissionamento, manufatura reversa e reciclagem. Também trabalha com contabilidade ambiental, economia circular, indicadores de sustentabilidade e créditos de carbono. A empresa investe em pesquisa e inovação tecnológica, por meio de parcerias e apoios, em busca de equipamentos e tecnologias que otimizem os processos e minimizem os impactos ambientais.

O compromisso da Vertas com o desenvolvimento sustentável e a preservação do meio ambiente é ressaltado, em sua participação no Pacto Global, nos esforços pela neutralização de carbono e por práticas da economia circular, como projetos de upcycling e meta de resíduo zero.

A Vertas promove a recuperação de materiais, por meio de processo a seco, ou seja, sem consumo de solventes ou água em seu processo. Desta forma, não são gerados efluentes ou requer o descarte de resíduos líquidos. O equipamento para a recuperação é qualificado como multimatéria, com capacidade para processamento de 1,26 milhões kg/mês de inservíveis tecnológicos e resíduos e separação de diferentes tipos de materiais como alumínio, plástico, cobre etc.

A empresa conta com uma equipe de 85 colaboradores diretos e dispõe de mais de 11.000m² de área, distribuídos em unidades de

processamento em Mauá. A Vertas opera com postos logísticos homologados, divididos em 27 pontos de coleta e 10 unidades de transbordos (que fazem a centralização e triagem do material) e

O processamento é realizado por equipamento totalmente automatizado para processamento e separação de metais, polímeros e metais ferrosos. O equipamento utiliza o processo a seco, evitando o consumo de água e a geração de efluentes líquidos, o que minimiza o risco de poluição do solo e do lençol freático. Os produtos gerados no processo são mais puros, pois não têm contato com a água. O equipamento é dotado de filtros eficientes que impedem a emissão de particulados para a atmosfera e de sua chaminé sai apenas ar quente. Outro benefício desse sistema é a melhor qualidade dos produtos gerados, mais puros por não terem contato com as soluções aquosas e, portanto, não exigirem estações de tratamento de efluentes.

Seus processos de reciclagem produzem matérias-primas com origem certificada, em especial, metais não ferrosos, como alumínio e cobre para uso industrial. A proposta da empresa está alinhada com as metas de desenvolvimento sustentável da ONU e atende a padrões internacionais de sustentabilidade na gestão de resíduos eletroeletrônicos. Uma das poucas empresas nacionais que fornece sistema de rastreabilidade dos materiais gerenciados de forma integrada com descaracterização de marcas e dados.

A empresa desenvolveu a tecnologia Revert Way (RW), que transforma resíduos do processo que iriam para o aterro, em placas com aplicações diversas, como o fechamento de bobinas. Essa tecnologia permite o upcycling (reutilização criati-

va), processo que transforma subprodutos e resíduos em novas matérias-primas ou novos produtos, recuperando o valor e mantendo a circularidade. A empresa tem como foco o aproveitamento cada vez mais completo dos materiais, visando à meta máxima do resíduo zero. Um diferencial da empresa é a estruturação de um sistema informatizado para o gerenciamento do processamento dos resíduos. A partir do sistema, é possível ao cliente que contrata o serviço acompanhar as etapas de processamento, bem como identificar o nível de mitigação dos impactos considerando a rastreabilidade do fluxo de materiais e a redução de emissões ao longo do processo.

6.2 ENTIDADES INTERNACIONAIS

6.2.1. EERA

Na Europa foram estruturadas diferentes associações que congregam recicladores, produtores e gestores. Destaca-se a Associação Europeia dos Recicladores de Eletrônicos (do inglês, European Electronics Recyclers Association - EERA)¹, que representa as unidades de recuperação a partir de resíduos eletrônicos na Europa, incluindo processos de reuso, reciclagem e reprocessamento de produtos pós-consumo e materiais secundários.

A instituição sem fins lucrativos, fundada em 2004 motivada pela Diretiva WEEE publicada em 2003, tem como atuação promovendo a cooperação para implementação de melhores práticas para a gestão dos REEE deste a coleta até a identificação e soluções de erradicação para práticas ilegais. A

¹ Disponível em: <https://www.eera-recyclers.com/>

proposta da EERA endossa a importância da integração do mercado da reciclagem e nos esforços para a harmonização das regulamentações com a cooperação entre os tomadores de decisão ao longo da cadeia de suprimentos.

Importante destacar que a proposta da EERA está pautada nos objetivos do European Commission's Green Deal, a saber:

- Eliminação da emissão de gases de efeito estufa (GEE) até 205;
- Crescimento econômico dissociado do uso de recursos;
- Nenhuma pessoa ou lugar deixados para trás.

A EERA congrega mais de 800 unidades de recuperação de REEE na Europa e tem atuação ativa nos principais comitês de normas e regulamentações. Atua ainda junto a catadores que atuam em rotas não oficiais na coleta e desmontagem manual, buscando verificar o atendimento aos requisitos legais por parte desses operadores. Também são avaliadas ações que caracterizem competição desleal como forma de coibir potenciais impactos socioambientais. As ações avançam para outros países no sentido de identificar pontos de exportação ilegal.

6.2.2 Plataforma Relac

A Plataforma Regional sobre Resíduos Eletrônicos de PCs na América Latina e Caribe (RELAC) é um projeto associativo sem fins lucrativos que é implementado na SUR Corporación (Chile), com o apoio do International Development Research Centre (IDRC, Canadá). A plataforma RELAC visa incentivar, articular e disseminar iniciativas que promovam soluções

para a prevenção, gestão adequada e tratamento final correto dos REEE na América Latina e Caribe (ALC).

Os principais objetivos do RELAC estão apresentados na Tabela 19 a seguir.

6.2.3 Plataforma de Mineração Urbana (Urban Mining Platform)

A Urban Mine Platform² é produto do projeto de pesquisa europeu ProSum (Prospecting Secondary raw materials in the Urban mine and Mining wastes) finalizado em 2017. A plataforma disponibiliza gratuitamente dados sobre produtos colocados no mercado, estoques, composição e fluxos de resíduos para equipamentos elétricos e eletrônicos (EEE), veículos e baterias para todos os 28 Estados-Membros da UE, além de Suíça e Noruega. A Islândia também está incluída para veículos.

Através da plataforma é possível selecionar dados e produzir gráficos. Também estão disponíveis mais de 800 documentos de origem e bancos de dados usados na construção da plataforma.

Os dados incluem os elementos e materiais considerados de alta abundância nesses produtos residuais. Isso inclui principalmente metais básicos, metais preciosos e aqueles também listados como matérias-primas críticas. Alguns dados sobre vidros e plásticos também são registrados e fornecidos, embora este não tenha sido o foco do projeto.

Os dados para baterias, EEE e veículos são apresentados de três modos:

(i) Mina Urbana, que representa a quantidade e tipo de produtos colocados no mercado, em estoque (em uso e hibernados) e gerados como resíduo (ou saindo do estoque para veículos).

(ii) Composições especificadas para os principais componentes, materiais e elementos, como alumínio, cobre, ouro ou neodímio, contidos em produtos BATT, EEE e veículos.

(iii) Fluxos de Resíduos, incluindo valores de coleta relatados, estimativas para pequenas baterias e produtos EEE em resíduos sólidos municipais não triados, alguns fluxos complementares de reciclagem de baterias e EEE, veículos usados exportados e paradeiro desconhecido de veículos, baterias e eletrônicos.

Tabela 19 - Principais objetivos da Plataforma RELAC.

LINHAS DE AÇÃO	OBJETIVOS
Investigação aplicada	Geração de informação
	Planejamento estratégico
	Ferramentas de intervenção
Desenvolvimento de capacidades	Promoção de um marco legal
	Criação de sistemas de gestão de resíduos
	Modelo de negócio social para gestão de resíduos eletroeletrônicos
Gerenciamento de comunicação	Formação profissional
	Articulação de iniciativas e cooperação entre os agentes
	Difusão de informações

² <http://www.urbanmineplatform.eu/>

7. ANÁLISE PROPOSITIVA

7.1 REGULAMENTAÇÕES E NORMAS

No estabelecimento de fóruns para a elaboração de regulamentações e normas técnicas são convidados especialistas nos tópicos de interesse para atuarem junto aos responsáveis pelo empreendimento. A participação voluntária é caracterizada pela motivação dos envolvidos, mas pode também não contar com a diversidade necessária para a consolidação dos conceitos e propostas.

Alguns agentes relevantes para a gestão de REEE no Brasil não tem participado das principais iniciativas de regulamentação e elaboração de normas técnicas, ou tem atuado de forma incipiente. A título de exemplo, representantes do setor de comércio e distribuição, aos quais são atribuídas responsabilidades por meio da PNRS, como também entidades representativas dos consumidores. A Confederação Nacional do Comércio de Bens, Serviços e Turismo (CNC), o Sistema Nacional de Defesa do Consumidor (SNDC) e PROCON, são exemplos de entidades que podem integrar a elaboração de instrumentos legais e normativos em cumprimento aos requisitos legais.

O conceito da responsabilidade compartilhada ainda em 2010 por ocasião da publicação da PNRS, colocou o Brasil em uma posição diferenciada em relação aos demais países desenvolvidos que optaram pela Responsabilidade Ampliada do Produtor (EPR). A responsabilidade compartilhada implica em níveis diferenciados de comprometimento aos diferentes agentes atuantes no sistema de logística reversa. Apenas a partir do Decreto nº 10.240 de 2020, com o estabelecimento de metas e prazos, a atuação coordenada dos agentes passou a se tornar imprescindível.

Um aspecto importante da atuação coordenada dos agentes remete ao fato de alguns destes não participarem das principais iniciativas de regulamentação e elaboração de normas técnicas, ou tem atuado de forma incipiente. A título de exemplo, representantes do setor de comércio e distribuição, aos quais são atribuídas responsabilidades por meio da PNRS, como também entidades representativas dos consumidores. A Confederação Nacional do Comércio de Bens, Serviços e Turismo (CNC), o Sistema Nacional de Defesa do Consumidor (SNDC) e PROCON, são exemplos de entidades que podem integrar a elaboração de instrumentos legais e normativos contribuindo para a efetividade do sistema de logística reversa.

A dificuldade comprovação das metas a partir dos resíduos exclusivamente domésticos é uma questão que foi discutida por ocasião do V Dia Internacional dos Resíduos Eletroeletrônicos. Tanto empresas recicladoras como as associações e cooperativas de catadores ainda possuem pontos a elucidar a este respeito. Por outro lado, a atuação dos CRCs junto aos órgãos públicos tem demonstrado o potencial de identificação e rastreabilidade dos volumes coletados.

7.2 CUMPRIMENTO DAS METAS

As metas de coleta e destinação de REEE estabelecidas no Decreto nº 10.240 de 2020 são relativas ao volume colocado no mercado (VCM) dos equipamentos eletroeletrônicos no Brasil para o ano-base de 2018. A partir da aplicação de metodologia internacional amplamente validada, os resultados publicados a partir do Projeto DATARE (DATARE, 2021

EQUIPAMENTOS	PESO (toneladas)
Aparelhos para refrigerar e/ou congelar alimentos e bebidas	318.826
Ar-condicionado	193.228
Aparelhos para aparar e/ou cortar barba, pelos e cabelos	103.082
Aparelho de massagem e outros aparelhos para o cuidado do corpo	174.232
Aparelho de rádio e sistema de som	13.448
Aparelho de televisão	1.403
Aparelho de videogame	12.307
Aparelhos de aquecimento de água para preparar café e/ou chá	65.858
Aspirador de pó	30.331
Aparelhos para bater, centrifugar, espremer, fatiar, moer, processar e triturar alimentos	139.347
Brinquedos elétricos ou eletrônicos	284.366
Calculadoras	10.687
Carregador portátil USB	26.467
Telefone Celular	3.223
Aparelhos para grelhar e/ou chapear alimentos	6.798
Ventiladores e/ou circuladores diversos	32.831
Fogões, fornos e churrasqueiras	4.819
Computadores portáteis, tablets, e-reader e semelhantes	305
Controle remoto	7.398
Computador de mesa tipo Desktop	153.583
DVD player	351.897
Aparelhos para cuidados com cabelo	69.140
Ferro de roupa	24.156
Fritadeiras e panelas elétricas	14.574
HDD - HDs de computadores inclusive do tipo SATA	4.582
TOTAL	2.046.884

Tabela 20- Volume em peso de alguns equipamentos eletroeletrônicos colocados no mercado para o ano-base de 2018.

e Xavier et al., 2021), indicam que a meta de 1% para o ano de 2021, com prazo para comprovação até março de 2022 seria de mais de 17 mil toneladas. Esta meta deveria ser contabilizada para os 210 itens informados no decreto, exclusivamente para equipamento domésticos e excluindo-se

O cálculo de 1% do VCM levou em consideração apenas os produtos com possibilidade de harmonização dos códigos das variáveis de entrada (produção, importação e exportação). Assim, o VCM equivalente a cerca de 1,8 milhão de toneladas foi calculado para 17% dos 210 itens do Anexo I do Decreto. Em atualização da análise, alcançando o equivalente a 107 códigos NCM correspondente à 95 itens do Anexo I, ou seja 45,24% dos produtos, foi alcançado o VCM equivalente a 2,047 milhões de toneladas. De acordo com base de dados da pesquisa, foram colocados no mercado em 2018, 174 mil toneladas de televisores e 103 mil toneladas de aparelhos de rádio.

Considerando a estimativa dos materiais presentes nos REEE (Vats e Singh, 2014), cerca de 1,23 Mt de metais e 307 mil toneladas de plásticos poderiam ser recuperados a partir do VCM referente ao ano-base de 2018 no Brasil. Valores expressivos e que exigem um sistema integrado de coleta, classificação e triagem para a recuperação e reinserção dos materiais nas cadeias produtivas.

Da mesma forma, uma análise detalhada a partir de tipos e modelos de equipamentos eletroeletrônicos poderia resultar em dados mais específicos para o potencial de recuperação dos materiais no Brasil. Na tabela 20 são apresentados os respectivos VCM para diferentes tipos de equipamentos eletroeletrônicos.

No Apêndice III são apresentados os 115 itens para os quais não foi possível a realização de harmonização direta entre os códigos de produção (códigos IBGE) e os códigos NCM para importação e exportação a partir da base de dados da Receita Federal.

A complexidade de harmonização dos códigos é uma questão enfrentada também pelos países europeus a partir da base Eurostat. Desta forma, desde janeiro de 2022 foram incluídos os seguintes novos códigos:

- 0309 (farinha de peixe)
- 2404 (novo tabaco)
- 3827 (misturas de HFCs)
- 8485 (impressoras 3D, manufatura aditiva)
- 8524 (painéis para monitores de tela plana)
- 8549 (resíduos eletrônicos)
- 8806 (veículos aéreos não tripulados/drones)
- 8807 (partes de aeronaves)
- Alterações das fibras de vidro do capítulo 70, placebos posição 3006, máquinas para trabalhar metais posição 8462
- Novas subposições para, entre outros, smartphones (8517 13)

O código 85.49 é resultado das pressões comerciais e governamentais a respeito da adesão à Convenção da Basileia de 1989 e busca possibilitar maior rastreabilidade e transparências às movimentações dessa categoria de resíduos. Assim, o código 8549¹ equivale, internacionalmente, à identificação

¹HS CODE 85499900 – “Electrical and electronic waste and scrap (excl. for the

de sucata de resíduos eletroeletrônicos. O código ainda não possui uma identificação equivalente para movimentações dentro do Brasil.

O código 8517 13, especificamente para smartphones, reflete a importância que essa categoria de aparelho de telefonia alcançou mundialmente.

Por fim, informar que a diferenciação entre resíduos, produtos pós-consumo e produtos ainda requer esforços conjuntos para regulamentações que atendam de forma específica projetos de recuperação de peças, partes e produtos para finalidade de reuso, como processos para recuperação de materiais ou ainda transparência na produção e comercialização de bens acabados de modo legal e rastreável.

A determinação das categorias que não constituem objeto da logística reversa de REEE tem configurado um impedimento importante ao atingimento das metas. Da mesma forma, a ausência do estabelecimento de metas e prazos para o comércio, por exemplo, tem restringido a conscientização do consumidor que, no momento da compra, poderia realizar o descarte de produtos pós-consumo, aumentando o potencial de atendimento às metas. Da mesma forma, importadores e distribuidores não se posicionam nos principais fóruns decisórios.

Outro aspecto que merece discussões específicas seria a responsabilidade jurídica das empresas integradoras que com=

recovery of precious metal, electrical and electronic assemblies and printed circuit boards, and containing primary cells, primary batteries, electric accumulators, mercury-switches, glass from cathode-ray tubes or other activated glass, or electrical or electronic components containing cadmium, mercury, lead or polychlorinated biphenyls “PCBs”).”

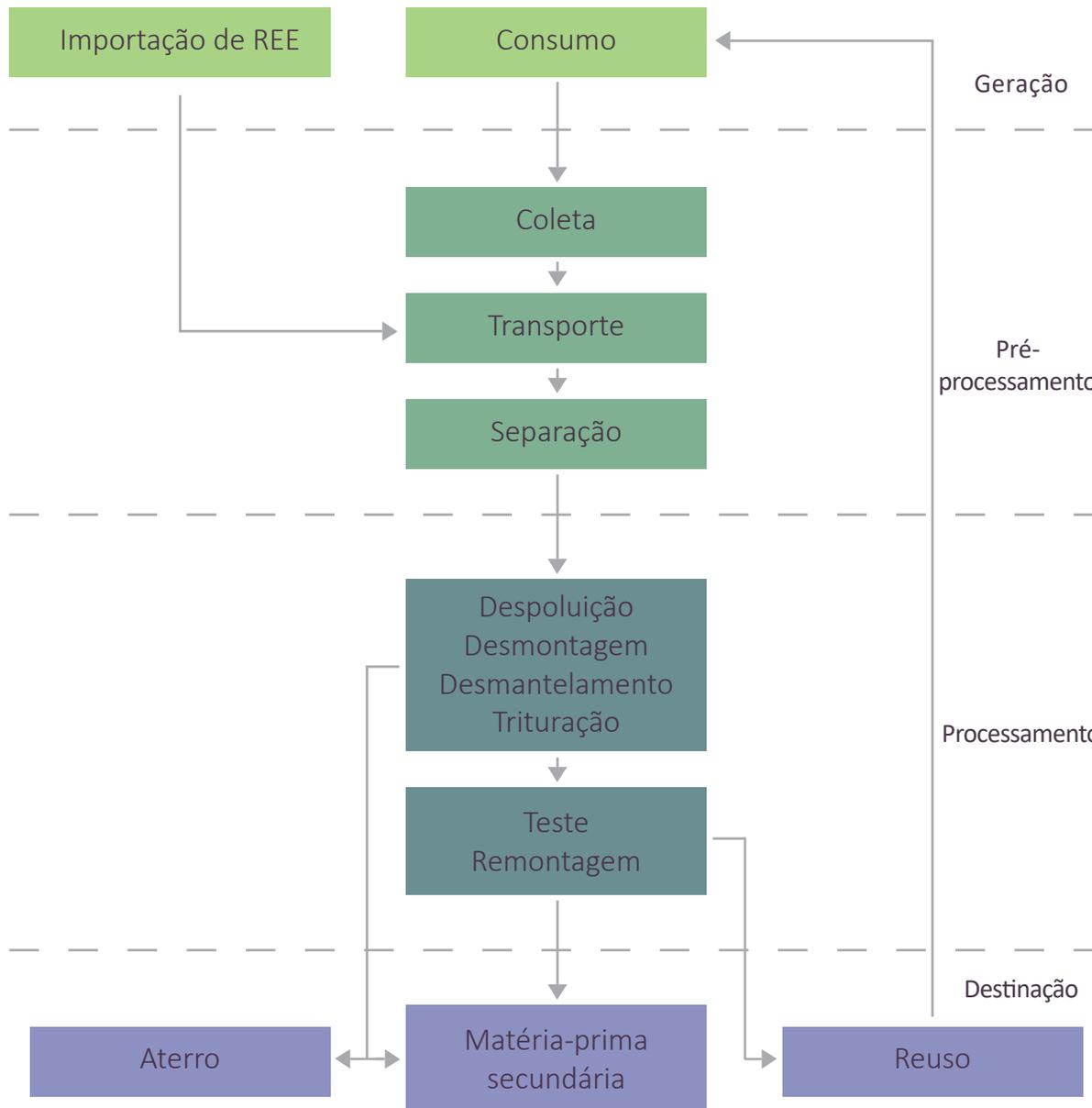


Figura 36- Fluxo da gestão de REEE.

Fonte: Modificado a partir de World Bank, 2012.

põem o grupo de agentes passíveis de responsabilidade na implementação do sistema de logística reversa de REEE.

A carência de informação aos gestores municipais e estaduais sobre a gestão de REEE no país poderia ser sanada a partir da atuação das IES e ICTs por meio de projetos bilaterais com recursos do próprio setor produtivo. O investimento em PD&I como forma de cumprir com as responsabilidades legais e ainda possibilitando diferencial de mercado.

7.3 SOLUÇÕES TECNOLÓGICAS

As soluções tecnológicas aqui apresentadas envolvem tanto o desenvolvimento e melhoria de rotas tecnológicas para a recuperação de valor a partir de produtos e materiais, como também etapas anteriores para o estabelecimento de processos eficientes de concentração com coleta, triagem, desmontagem, entre outros. Para tanto, três critérios parecem nortear os processos decisórios:

(i) Aspectos legais e normativos: requisitos para o combate às práticas ilegais, inclusão social, adaptação à graus de informalidade e requisitos para a rastreabilidade;

(ii) Valor de mercado: considerar disponibilidade de produtos e materiais, bem como os respectivos valores;

(iii) Potencial tecnológico: instrumentos e conhecimento necessário para viabilizar soluções sustentáveis.

A partir desses aspectos norteadores, cada tipo de equipamento ou categorias seguirão uma rota tecnológica, demandando recursos e conhecimento específicos. A Figura 36 apre-

senta um fluxo genérico da gestão dos REEE, iniciando com o consumo interno e a importação de REEE, seguindo para as etapas de pré-processamento, processamento e destinação.

A concentração de materiais inicia-se a partir da coleta e separação e segue até, por exemplo, processos básicos da metalurgia. A recuperação de matéria-prima secundária consiste efetivamente nos processos interpretados como reciclagem, com a transformação físico-química ou biológica. O reuso exige as etapas de reparo, acondicionamento e remanufatura.

A recuperação de valor a partir de fontes de materiais secundários é a definição mais adequada de mineração urbana. As regulamentações sobre gestão de resíduos, logística reversa e gestão de materiais perigosos são os principais impulsionadores para capacitar os procedimentos de mineração urbana. É necessário avaliar os estoques de materiais para dimensionar o potencial global da mineração urbana (Krook et al., 2011). A conexão entre as potenciais matérias-primas na mineração urbana pode ser impulsionada por sistemas de produtos ou serviços. Assim, considerando os sistemas produto-serviço (PSS) como uma importante contribuição para uma economia circular, algumas áreas-chave de inovação podem ser identificadas, como segue (Johansson et al., 2016):

- Mudança cultural em termos de propriedade, disponibilidade, responsabilidade e custos;
- Identificar e prestar serviços ou garantias de cobertura;
- Explorar as vantagens dos produtos e materiais recuperados por soluções de mineração urbana em comparação com a exploração de estoques de recursos naturais;

- São necessários recursos, processos e máquinas especializados;
- A reciclagem está a decorrer no local – eliminando transportes desnecessários e minimizando o número de entregas entre os diferentes intervenientes;
- Ofertas de soluções baseadas em uma integração específica de componentes de produtos e serviços, onde os recursos de habilitação de serviços precisam ser integrados;
- Considerar como clientes potenciais aqueles prejudicados pela barreira de entrada no mercado usual e os de canais de pós-venda;

De acordo com esta proposta, é fundamental identificar os stakeholders envolvidos na cadeia de suprimentos em circuito fechado e suas responsabilidades. O marco regulatório é a principal fonte para avaliar os requisitos e os parâmetros de conformidade legal. No entanto, o grande desafio parece residir em encontrar correlações entre as soluções oferecidas pelos modelos de negócios circulares e a influência dos mecanismos regulatórios.

7.4 MODELOS DE NEGÓCIO PARA A MINERAÇÃO URBANA

Com a consolidação dos princípios da economia circular, novos modelos de negócio encontram-se em estruturação. A responsabilidade compartilhada entre os agentes da cadeia no Brasil é uma proposta inovadora e que, apesar de estar em vigor no país há mais de uma década, tem encontrado espaço em diferentes esferas. Definições como Product as a Service (PaaS) ou Product-Service System (PSS) avançam para

uma estrutura de servitização onde o produto não possui um 'dono', mas serve a diferentes usuários, aumentando sua eficiência, vida útil e sustentabilidade. Ao chegar ao final da vida útil, a rastreabilidade segue um fluxo contínuo possibilitando a aplicação de métricas de circularidade.

A busca pelo cumprimento das metas motivou a busca por pontos de consolidação ou fornecedores informais ou em condição de ilegalidade, resultando em concorrência desleal. Outro aspecto que merece atenção no país é o pagamento por serviços ambientais. Empresas têm ampliado sua atuação considerando a possibilidade de usufruir dos serviços prestados por serviços públicos de limpeza urbana, atuação de associações e cooperativas ou ainda sem que consumidores possam se beneficiar de instrumentos de bonificação.

A seguir são propostos modelos de negócio específicos para a mineração urbana de resíduos eletroeletrônicos no Brasil.

a) Mecanismo de coleta ativa - Campanhas sazonais de coleta (hakatons, gincanas escolares, etc) para estímulo a consolidação de volumes;

b) Mecanismo de coleta passiva - Estabelecimento de pontos de entrega voluntária (PEVs) inteligentes com acompanhamento de taxas de destinação e comportamento do consumidor;

c) Sistema de rastreabilidade - Desenvolvimento e integração de plataformas digitais para o gerenciamento das minas urbanas;

d) Banco de dados de materiais secundários - Análise do balanço de massa por equipamentos, modelos ou marcas

para oferta de serviços customizados de recuperação de materiais secundários;

e) Parques eco-industriais – estímulo ao estabelecimentos de parques industriais integrados com base no conceito de ecologia industrial visando minimizar impactos e potencializar a recirculação de produtos e materiais secundários;

f) Pólos de consolidação – uso da estrutura dos CRCs para consolidação, triagem e separação dos equipamentos destinados, aumentando a rastreabilidade do sistema.

Em alguma medida, todos os modelos de negócio elencados encontram-se em operacionalização no país. No entanto, a disseminação da informação ainda é deficiente no setor e uma maior integração das propostas poderiam viabilizar maior efetividade para as ações empreendidas. Desta forma, incentivos econômicos e a estruturação de políticas públicas podem contribuir significativa para o desenvolvimento da mineração urbana no país.

8. EVENTOS

Como proposta de disseminação dos resultados alcançados por meio do Diagnóstico da Mineração Urbana dos Resíduos Eletroeletrônicos – Projeto MINARE, foram realizados eventos comemorativos ao Dia Internacional dos Resíduos Eletroeletrônicos (*International E-Waste Day – IEWD*). A data é mundialmente celebrada em 14 de outubro a partir de uma iniciativa do WEEE Forum. Desta forma, nesta data foi realizado o evento no CETEM com a seguinte programação.

5ª DIA INTERNACIONAL DOS RESÍDUOS ELETRÔNICOS – V IEWD

Dia 14.10.2022 – manhã

9h - Abertura

CETEM – Sílvia França – Diretora CETEM

MME – Enir Mendes – Diretor SGM

9h30 às 10h - Projeto MINARE: Diagnóstico das Mineração Urbana no Brasil (CETEM)

10h às 10h30 – Prof. Jorge Tenório – LAREX/USP

10h30 às 11h – Marcos Berton – SENAI-PR

11 às 12h - Mesa redonda: Recuperação de valor a partir dos resíduos eletrônicos

13h30 às 14h – Ricardo Rodrigues - UMICORE

14h às 14h30 – Eduardo Azzari - ESSENCIS

14h30 às 15h – Henrique Mendes - GMCLog

15h às 15h30 – Bruno Moreno - ELETROS

15h30 às 16h – Ademir Brescansin - GREEN ELETRON

16 às 17h - Mesa redonda: Regulamentação e cumprimento das metas

Com a proposta de divulgação dos resultados preliminares do Projeto MINARE foi organizado uma segunda edição do evento, com a participação de palestrantes internacionais e nacionais, conforme programação a seguir.

5ª DIA INTERNACIONAL DOS RESÍDUOS ELETRÔNICOS – V IEWD 2ª Edição

Dia 21.11.2022 - remoto com ponto de acesso no CETEM/RJ e LAREX/SP

8h30 - Mesa de abertura

Dra. Sílvia França – CETEM/Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações, Brasil

Dr. Enir Mendes – SGM/Ministério de Minas e Energia, Brasil

Dra. Lúcia Helena Xavier – CETEM/MCTI, Brasil

Sessão em inglês -

<https://www.youtube.com/watch?v=qk6qzbwUf8w&t=10828s>

9h – Kees Baldé – UNITAR/Suíça

9h30 – Pascal Leroy – WEEE Forum/Bélgica

10h – Mathias Schluep – World Resources Forum - WRF/Suíça

10h30 – Lúcia Helena Xavier - CETEM/Brasil

10h50 – Denise Espinosa - USP/Brasil

11h10 – Lies Geunens - UMICORE/Bélgica

11h30 – Christian Dworak – WEEELabex/Rep.Tcheca

Moderadora: Lúcia Helena Xavier - CETEM

Sessão em espanhol -

<https://www.youtube.com/watch?v=EzgzWCGsamo&t=783s>

14h – Uca Silva – Plataforma RELAC/Chile

14h20 – Jose Ramon Carbajosa - Associate - Research, Innovation & Commercialization (RIC), Meru University of Science and Technology, Kenya

14h40 – Leila Devia – Instituto Nacional de Tecnología Industrial - INTI/Argentina

15h10 - Prof. Komal Habib – Waterloo University/Canadá (em inglês)

15h30 - Jhoanna Rosales – Vetmonde/Equador

16h às 17h – MESA REDONDA

Moderador: Carlos Hernandez – PREAL/ONUUDI

Dia 22.11.2022 - presencial no CETEM/RJ com ponto de acesso no LAREX/SP

<https://www.youtube.com/watch?v=pGN-clH8P3I&t=4116s>

9h - Mesa de abertura

Lúcia Helena Xavier – CETEM/MCTI

9h30 – Sônia Denise Ferreira Rocha – DEMIN/UFMG

James Vaughan – Queensland University, Austrália

10h – Marcos Antonio Coelho Berton – SENAI-PR

10h30 – Gustavo Lima – Ministério das Comunicações CGID/MCOM

11h – Hugo Marcelo Veit – LACOR/UFRGS

11h30 às 12h30 – MESA REDONDA

Moderador: Hugo Veit - UFRGS

<https://www.youtube.com/watch?v=P6UkakZBY8s&t=6831s>

14h – José Rocha – Centro de Tecnologia Renato Archer CTI/MCTI

14h30m – Clarisse Aramian – COOPER ECOLÓGICA

15h – Aline Nunes – Instituto Brasileiro de Mineração - IBRAM

15h30m – Daniel Majuste – DEMET/UFMG

16 às 17h – MESA REDONDA

Moderador: Rafael Piumatti – LAREX/USP

Dia 23.11.2022 - presencial no LAREX/SP com sala para acesso remoto no CETEM/RJ

Manhã - VISITA TÉCNICA

10h - LAREX/USP - Laboratório de Reciclagem, Tratamento de Resíduos e Extração

11h - CEDIR/USP - Centro de Descarte e Reuso de Resíduos de Informática

https://www.youtube.com/watch?v=e_BzhFj_dvs&t=392s

13h – Mesa de abertura

Jorge Tenório e Denise Espinosa – LAREX/USP

13h30 - Amilton Barbosa Botelho Junior - LAREX/USP

14h às 14h20 – Ricardo Rodrigues – UMICORE

14h20 às 14h40 – Lucilene Pimentel – ESSENCIS

14h40 às 15h – Marcelo Oliveira – GM&C

15h às 15h20 – Jorge Demov – VERTAS

15h20 às 15h40 – Marcelo Souza – FOX

15h40 às 16h – Marcos Oliveira – Circular Brain

16h às 17h – MESA REDONDA

Moderador: Flávio de Miranda Ribeiro - Universidade Católica de Santos

O evento, realizado ao longo de três dias teve mais de 15 horas de duração, e uma média de cerca de 200 visualizações por período. Na Tabela 21 são apresentadas as estatísticas relacionadas à realização do V IEWD em sua segunda edição.

Tabela 21 - Dados referentes às transmissões do V IEWD – 2ª edição (dados analisados em 30.11.2022).

DATA	DURAÇÃO (HORAS)	NÚMERO DE VISUALIZAÇÕES	IDIOMA
21.11.2022	3:54:52	261	Inglês
21.11.2022	2:48:53	106	Espanhol
22.11.2022	3:03:40	163	Português
22.11.2022	2:48:53	166	Português
23.11.2022	4:07:06	233	Português

9. REFERÊNCIAS

- AL-SALEM, S.M., LEEKE, G.A., EL-ESKANDARANY, M.S., VAN HAUTE, M., CONSTANTINOU, A., DEWIL, R., BAEYENS, J. (2022) **On the implementation of the circular economy route for E-waste management: A critical review and an analysis for the case of the state of Kuwait.** *Journal of Environmental Management*, Volume 323, 116181, ISSN 0301-4797, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116181>.
- ASHIQ, A., KULKARNI, J., & VITHANAGE, M. (2019). **Hydrometallurgical recovery of metals from E-waste.** In: *Electronic waste management and treatment technology* (pp. 225-246). Butterworth-Heinemann.
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN. **UNE EN IEC 63000:2018.** Technical documentation for the assessment of electrical and electronic products with respect to the restriction of hazardous substances. Génova, 2018. Disponível em: <https://www.en-standard.eu/une-en-iec-63000-2018-technical-documentation-for-the-assessment-of-electrical-and-electronic-products-with-respect-to-the-restriction-of-hazardous-substances-endorsed-by-asociacion-esp-ola-de-normalizacion-in-april-of-2019/>. Acesso em: 14/12/2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2013). **ABNT NBR 16.156:2013.** Resíduos de equipamentos eletroeletrônicos – Requisitos para atividade de manufatura reversa. São Paulo, SP.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15.833:2018.** Manufatura reversa - Aparelhos de refrigeração. São Paulo, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR IEC 6300:2019.** Documentação técnica para a avaliação de produtos elétricos e eletrônicos com relação à restrição de substâncias perigosas. São Paulo, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA A GESTÃO DA LOGÍSTICA REVERSA DE PRODUTOS DE ILUMINAÇÃO – RECICLUS (2019). **Relatório de Atividades 2019.** Disponível em: https://reciclus.org.br/wp-content/uploads/2021/01/Reciclus-Relatorio_Atividades_2019.pdf Acesso em: 14/12/2022.
- AWASTHI, A.K., CUCCHIELLA, F., D'ADAMO, I., LI, J., ROSA, P., TERZI, S., WEI, G., ZENG, X., (2018). **Modelling the correlations of e-waste quantity with economic increase.** *Science of The Total Environment*. Volumes 613–614, 46-53. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.288>.
- AWASTHI, A.K., LI, J. (2019). **An overview of the potential of eco-friendly hybrid strategy for metal recycling from WEEE.** *Resources, Conservation and Recycling* 126, 228-239. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.07.014>.
- BALDÉ, C.P., FORTI, V., GRAY V., KUEHR, R., STEGMANN, P. (2017). **The Global E-waste Monitor–2017.** United Nations University (UNU), International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA).

BLAKE, V., 2018. The e-waste management behaviours of household consumers in Whangarei, New Zealand (PDF) (Master). Massey University.

BRASIL (1981). **Lei nº 6.938**, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/16938.htm. Acesso em: 19/01/2021.

BRASIL (1989). **Decreto nº 97.632**, de 10 de abril de 1989. Dispõe sobre a regulamentação do artigo 2º, inciso VIII, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, e dá outras providências. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1989/decreto-97632-10-abril-1989-448270-publicacaooriginal-1-pe.html>. Acesso em: 19/01/2021

BRASIL (2010a). **Lei nº 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 01/08/2022.

BRASIL (2010b). **Decreto Nº 7.404**, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a lei nº lei 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o comitê orientador para a implantação dos sistemas de logística reversa, e dá outras providências. Situação: Revogado. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/decreto/d7404.htm. Acesso em: 01/08/2022.

BRASIL (2020). **Decreto nº 10.240**, de 12 de fevereiro de 2020. Regulamenta o inciso VI do caput do art. 33 e o art. 56 da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, e complementa o Decreto nº 9.177, de 23 de outubro de 2017, quanto à implementação de sistema de logística reversa de produtos eletroeletrônicos e seus componentes de uso doméstico. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/D10240.htm. Acesso em: 01/08/2022.

BRASIL (2021). **Decreto nº 10.657**, de 24 de março de 2021. Institui a Política de Apoio ao Licenciamento Ambiental de Projetos de Investimentos para a Produção de Minerais Estratégicos - Pró-Minerais Estratégicos, dispõe sobre sua qualificação no âmbito do Programa de Parcerias de Investimentos da Presidência da República e institui o Comitê Interministerial de Análise de Projetos de Minerais Estratégicos. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/decreto/D10657.htm. Acesso em: 01/08/2022.

BRASIL (2022a). **Decreto nº 10.936**, de 12 de janeiro de 2022. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2022/Decreto/D10936.htm. Acesso em: 01/08/2022.

BRASIL (2022b). **Decreto nº11.044**, de 13 de abril de 2022. Institui o Certificado de Crédito de Reciclagem - Recicla+. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/d11044.htm. Acesso em: 01/08/2022.

CARVALHO, T.C., XAVIER, L.H. (org). **Gestão de Resíduos Eletroeletrônicos: Uma Abordagem Prática Para a Sustentabilidade**. 1^a ed. Rio de Janeiro. Elsevier. 240p. 2014.

COSSU, R. WILLIAMS, I. D. **Urban mining: Concepts, terminology, challenges**. Waste Management, 2015.

DA CRUZ, A.D., MCARTHUR, A.G., SILVA, C.C., CURADO, M.P., GLICKMAN B.W. (1994). **Human micronucleus counts are correlated with age, smoking, and cesium-137 dose in the Goiânia (Brazil) radiological accident**. 313(1), 57–68. doi:10.1016/0165-1161(94)90033-7. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7519311/>. Acesso em: 14/12/2022.

DONOVAN, E. (2020). **The Detail: New Zealand’s e-waste problem**. Stuff. Retrieved 2022-10-24.

EBIN, B. & ISIK, M. I. (2016). **Pyrometallurgical processes for the recovery of metals from WEEE**. In: WEEE recycling (pp. 107-137). Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-803363-0.00005-5>.

EGLER, C.A.G., BESSA, V.C., GONÇALVES, A.F., (2013). **Dinâmica territorial e seus rebatimentos na organização regional do estado de São Paulo**. Confins. Disponível em: <https://doi.org/10.4000/confins.8602>

ERI (2022). **Countries With E-Waste Legislation in 2022**. ERI Blog, Fresno, California, August 3, 2022. Disponível em: <https://eridirect.com/blog/2022/08/countries-with-e-waste-legislation-in-2022/> Acesso em: 14/12/2022.

FECOMÉRCIO-SP (2015). Acordo setorial para logística reversa de lâmpadas é publicado no Diário Oficial da União. Encarte Sustentabilidade. Bela Vista, São Paulo, 16/03/2015. Disponível em: www.fecomercio.com.br/noticia/acordo-setorial-para-logistica-reversa-de-lampadas-e-publicado-no-diario-oficial-da-uniao . Acesso em: 14/12/2022.

FORTI, V., BALDÉ C.P., KUEHR R. & BEL G. (2020). **The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows and the circular economy potential**. United Nations University (UNU)/United Nations Institute for Training and Research (UNITAR) – co-hosted SCYCLE Programme, International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Rotterdam.

INTERNATIONAL LABOR ORGANIZATION – ILO (2015). **Recommendation No. 204 concerning the Transition from the Informal to the Formal Economy**. Disponível em: https://www.ilo.org/ilc/ILCSessions/previous-sessions/104/texts-adopted/WCMS_377774/lang--en/index.htm Acesso em: 14/12/2022.

INVENTTA, 2012. **Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos – Análise de Viabilidade Técnica e Econômica**. Inventta. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial - ABDI. Disponível em: https://www.cetem.gov.br/antigo/images/reminare/documentos/EVTE_ELETRONICO_2012_INVENTTA.pdf. Acesso em: 14/12/2022.

- KAYA, M. (2019). **Waste Printed Circuit Board (WPCB) Recycling: Conventional and Emerging Technology Approach**. Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials. 1-18. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.11296-2>.
- KIDDEE, P., PRADHAN, J. K., MANDAL, S., BISWAS, J. K. & SARKAR, B. (2020). **An overview of treatment technologies of E-waste**. Handbook Of Electronic Waste Management, [S.L.], p. 1-18, 2020. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-817030-4.00022-x>.
- KITCHENHAM, B., BRERETON, O. P., BUDGEN, D., TURNER, M., BAILEY, J., & LINKMAN, S. (2009). **Systematic literature reviews in software engineering—a systematic literature review**. Information and software technology, 51(1), 7-15.
- LINDEBERG, M.R., MASELKO, J., HEINTZ, R.A., FUGATE, C.J., HOLLAND, L. **Conditions of persistent oil on beaches in Prince William Sound 26 years after the Exxon Valdez spill**. Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, Volume 147, 2018, Pages 9-19, ISSN 0967-0645, <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2017.07.011>.
- LÓPEZ-PÉREZ, M., HERNÁNDEZ, F., LIGER, E., GORDO, E., FERNÁNDEZ-ALDECOA, J.C., EXPÓSITO, F.J., DÍAZ, J.P., HERNÁNDEZ-ARMAS, J., SALAZAR-CARBALLO, P.A. (2022). **Cs-134 in soils of the Western Canary Islands after the Chernobyl nuclear accident**. Journal of Geochemical Exploration, Volume 242, 107085, ISSN 0375-6742, <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2022.107085>.
- MAES, T., PRESTON-WHYTE, F. (2022). **E-waste it wisely: lessons from Africa**. SN Appl. Sci. 4, 72. <https://doi.org/10.1007/s42452-022-04962-9>.
- MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DO PARANÁ – MPPR (2021). **Termo de Compromisso para operacionalização do sistema de logística reversa de lâmpadas pós-consumo no Estado do Paraná**. Disponível em: <https://comunicacao.mppr.mp.br/arquivos/File/ASCOM/TermoLogisticaReversaLampadas.pdf>. Acesso em: 14/12/2022.
- NASCIMENTO, H. F. F. & XAVIER, L. H. (2017). **Cenário atual da gestão de resíduos eletroeletrônicos: O estudo de caso do Rio de Janeiro**. In: SEMBRAGIRES, 2017, Natal. SEMBRAGIRES. p. 1-6.
- NASCIMENTO, H. F. F., & XAVIER, L. H. (2018). **Urban mining and circular economy: e-waste management in Rio de Janeiro city, Brazil**. In Proceedings SUM2018, Fourth Symposium on Urban Mining, 21-23 May 2018. Congress Center Giovanni XXIII Bergamo, Italy.
- PARAJULY, K., KUEHR, R., AWASTHI, A.K., FITZPATRICK, C., LEPAWSKY, J., SMITH E., WIDMER R., ZENG, X. (2019) **Future e-waste scenarios**. The StEP Initiative, UNU ViE-SCYCLE, and UNEP IETC.
- PRABOWO, A.R., BAE, D. M. **Environmental risk of maritime territory subjected to accidental phenomena: Correlation of oil spill and ship**

grounding in the Exxon Valdez's case. Results in Engineering, Volume 4, 2019, 100035, ISSN 2590-1230, <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2019.100035>.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE A GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS – SINIR (2014). Regulamentação. **Acordo Setorial de Lâmpadas Fluorescentes de Vapor de Sódio e Mercúrio e de Luz Mista.** Disponível em: <https://portal-api.sinir.gov.br/wp-content/uploads/2021/10/02-Acordo-Setorial-de-Lampadas.pdf> . Acesso em: 14/12/2022.

STERMAN, J., OLIVA, R., LINDERMAN, K. W., & BENDOLY, E. (2015). **System dynamics perspectives and modeling opportunities for research in operations management.** Journal of Operations Management, 39, 40.

THE WORLD BANK – WB (2012). **Wasting No Opportunity - The case for managing Brazil's electronic waste.** 73 p. Disponível em: http://www.infodev.org/infodevfiles/resource/InfodevDocuments_1169.pdf. Acesso em: 14/12/2022.

TONDEL, M., NORDQUIST, T., ISAKSSON, M., RÄÄF, C., WÅLINDER, R. (2022). **Cancer incidence in a male adult population in relation to estimated protracted colon dose – A nested case control study in Northern Sweden after the Chernobyl Nuclear Power Plant accident.** Science of The Total Environment, Volume 838, Part 3, 156349, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156349>.

UN ENVIRONMENT PROGRAMME - UNEP (2018). **Africa Waste Management Outlook.** Nairobi, Kenya.

VATS, M.C., SINGH, S.K., (2014). **E-waste characteristic and its disposal.** International Journal of Ecological Science and Environmental Engineering. 1(2): 49-61

WAGNER, M., BALDÉ, C.P., LUDA, V., NNOROM, I.C,M KUEHR, R., IATTONI, G., 2022. **Regional E-waste Monitor for Latin America: Results for the 13 countries participating in project UNIDO-GEF 5554.** Bonn (Germany). Disponível em: https://ewastemonitor.info/wp-content/uploads/2022/01/REM_LATAM_2022_ENG_Final.pdf. Acesso em: 14/12/2022.

WANG, L., YANG, W. (2021) **Electronic Waste Recycling Mode and Control Measures in China Based on PEST and SWOT.** In: Nature Environment and Pollution Technology. 229 - 235, 20.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO (2021a). **Growing Threat of E-waste Affecting Millions of Children Worldwide, WHO Warns.** Disponível em: <https://sdg.iisd.org/news/growing-threat-of-e-waste-affecting-millions-of-children-worldwide-who-warns/> Acesso em: 14/12/2021.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO (2021b). **Children and digital dumpsites: e-waste exposure and child health.** Geneva: World Health Organization. Licence: CC BY-NC-SA 3.0. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240023901> Acesso em: 14/12/2021.

XAVIER, L. H., & CORRÊA, H. L. (2013). **Sistemas de logística reversa: criando cadeias de suprimentos sustentáveis**. 1ª ed. São Paulo. Editora Atlas.

XAVIER, L. H., OTTONI, M. org (2021). **Mineração urbana: Conceitos e análise do potencial dos resíduos eletroeletrônicos**. 1ª ed. Rio de Janeiro. Centro de Tecnologia Mineral, CETEM/MCTI.

XAVIER, L. H., SIERPE, R., OTTONI, M., CUGULA, J. S., (2021). **Método para a categorização e a estimativa da geração de resíduos eletroeletrônicos no Brasil**, v. 8, 20, Pp. 1533-1551. DOI: 10.21438/rbgas(2021)082017.

XAVIER, L.H., OTTONI, M., LEPAWSKY, J., **Circular economy and e-waste management in the Americas: Brazilian and Canadian frameworks**, Journal of Cleaner Production, Vo. 297, 2021, 126570, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126570>.

XAVIER, L.H.M., OTTONI, M.S.O., SIERPE, R. (2021). **Projeto Datare: relatório final**. CETEM/MCTI. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/handle/cetem/2486>. Acesso em: 14/12/2022.

ZHAO, X., BAI, X. (2021). **How to motivate the producers' green innovation in WEEE recycling in China? – An analysis based on evolutionary game theory**. In: Waste Management, 26-35, 122.

APÊNDICE I

Lista das regulamentações, nacionais, estaduais e municipais sobre resíduos de equipamentos eletroeletrônicos.

Regulamentações federais

	Regulamento	Ano
1	Lei nº 12.305	2010
2	Projeto de Lei nº 5.991	2019
3	Decreto Nº 10240	2020
4	Resolução Conama nº 401	2021
5	Instrução Normativa Ibama nº 8	2021
6	Decreto nº 223	2022

Regulamentações estaduais

	Estado	Regulamento	Ano
1	Rio de Janeiro	Lei Estadual nº 2.110	1993
2	Distrito Federal	Lei Estadual nº 462	1993
3	Minas Gerais	Lei Estadual nº 13.766	2000
4	Mato Grosso do Sul	Lei Estadual nº 2.233	2001
5	Rondônia	Lei Estadual nº 1.101	2002
6	Distrito Federal	Lei Estadual nº 3.231	2003
7	Roraima	Lei Estadual nº 416	2004
8	Mato Grosso	Lei Estadual nº 8.876	2008
9	Goiás	Lei Estadual nº 14.248	2008
10	Paraná	Lei Estadual nº 16.075	2009
11	São Paulo	Lei Estadual nº 13.576	2009
12	Paraíba	Lei Estadual nº 9.129	2010
13	Paraná	Lei Estadual nº 1.611	2010
14	Rio Grande do Sul	Lei Estadual nº 13.533	2010
15	Paraíba	Lei Estadual nº 9.129	2010
16	Espírito Santo	Lei estadual nº 9.941	2012
17	Acre	Lei Estadual nº 2.539	2012
18	Pernambuco	Lei Estadual nº 15.034	2013
19	Pernambuco	Lei Estadual nº 15.084	2013
20	Mato Grosso do Sul	Lei Estadual nº 14.787	2015
21	Ceará	Lei Estadual nº 10.505	2017
22	Rio Grande do Norte	Lei Estadual nº 10.296	2017
23	Amapá	Projeto de Lei 0121	2017
24	Ceará	Lei Estadual nº 16.569	2018
25	Rio de Janeiro	Lei Estadual nº 8.038	2018
26	Goiás	Lei Estadual nº 20.042	2018
27	Ceará	Lei Estadual nº 3614	2019
28	Rio Grande do Norte	Lei Estadual nº 10.478	2019

29	Tocantins	Lei Estadual nº 3.614	2019
30	Pará	Lei Estadual nº 9.672	2019
31	Tocantins	Lei Estadual nº 3.614	2019
32	Maranhão	Lei Estadual nº 11.326	2020
33	Santa Catarina	Lei Estadual nº 11.347	2020
34	Roraima	Lei Estadual nº 1.518	2021
35	Paraná	Lei Estadual nº 21154	2022
36	Piauí	Lei Estadual nº 7752	2022
37	Alagoas	Lei Estadual nº 2633	2022

Regulamentações municipais

	Município	Regulamento	Ano
1	Foz do Iguaçu - PR	Lei Municipal nº 2702	2002
2	Caxias do Sul - RS	Lei Municipal nº 5.873	2002
3	Atibaia - SP	Lei Municipal nº 3466	2005
4	Mafra - SC	Lei Municipal nº 4294	2007
5	Rio de Janeiro - RJ	Lei Municipal nº 1800	2008
6	Sergipe	Lei Municipal nº 3.697	2009
7	Fortaleza - CE	Lei Municipal nº 9.536	2009
8	Teresina - PI	Lei Municipal nº 3924	2009
9	Niterói - RJ	Lei Municipal nº 2759	2010
10	Santos - SP	Lei Municipal nº 2712	2010
11	Guarulhos - SP	Lei Municipal nº 6.663	2010
12	Guaxupé - MG	Lei Municipal nº 1.987	2010
13	Lauro Freitas - BA	Lei Municipal nº 1.402	2010
14	Araraquara - SP	Lei Municipal nº 7.465	2011
15	Vitória - ES	Lei Municipal nº 8.348	2012
16	Cesário Lange - SP	Lei Municipal Nº 1.447	2013
17	Mato Grosso	Lei Municipal nº 1.187	2015
18	Curitiba - PR	Lei Municipal nº 14.596	2015
19	Porto Velho - RO	Lei Municipal nº 2138	2015
20	Xanxerê - SC	Lei Municipal nº 3.772	2015
21	Mirassol - SP	Decreto nº 5.101	2015
22	Manaus - AM	Lei Municipal nº 2.452	2016
23	Porto Velho - RO	Lei Municipal Nº 2.347	2016
24	Castelo - ES	Lei Municipal Nº 3.694	2016
25	Luzerna - SC	Lei Municipal nº 1.450	2016
26	Recife - PE	Lei Municipal nº 18.403	2017
27	Nova Iguaçu - RJ	Lei Municipal nº 4.685	2017
28	Sete Alagoas - MG	Lei Municipal nº 8629	2017

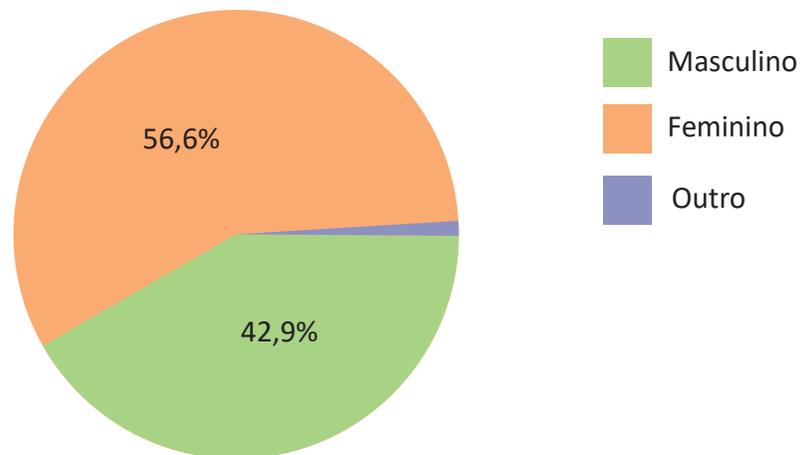
29	Bahia	Lei Ordinária nº 3769	2017
30	Goiás	Lei Municipal nº 10.229	2018
31	Pato de Minas - MG	LEI Municipal nº 7.589	2018
32	São Sebastiao - MG	Lei Municipal nº 4.823	2018
33	Rio Branco - Acre	Lei Municipal nº 1.572	2018
34	Xangui-lá - SP	Lei Municipal nº 2.011	2018
35	Passo Fundo -RS	Lei Municipal nº 5.320	2018
36	Bento Gonçalves - RS	Lei Municipal nº 6.423	2018
37	Cruzeiro do Sul - AC	Lei Municipal nº 797	2018
38	São Paulo	Lei Municipal nº 17.471	2019
39	Colíder - MT	LEI Municipal nº 3.060	2019
40	Peruíbe - SP	Lei Municipal nº 3.782	2019
41	Rolândia - PR	LEI Municipal nº 3.981	2020
42	São Paulo	Lei Municipal nº 17.471	2020
43	Blumenau - SC	Lei complementar nº 1.321	2020
44	Amapá	Lei Municipal nº 2.435	2021
45	Campo Largo - Paraná	Lei Municipal nº 3.304	2021
46	Rio do Sul - SC	Lei Municipal nº 6.255	2021
47	Matinhos - Paraná	Lei Municipal nº 2.220	2021
48	Ceres - Goiás	Lei Municipal nº 2.080	2021
49	Joaquim da Barra - SP	Lei Municipal nº 1.241	2021
50	Arandu -SP	Lei Municipal nº 2.654	2021
51	Realeza - PR	Lei Municipal nº 1.935	2021
52	Cuité - PB	Lei Municipal nº 1.289	2021
53	Nazaré - PI	Lei Municipal nº 198	2021
54	Belém - PA	Projeto de Lei nº 1.882	2021
55	Barra Bonita - SC	Lei Municipal nº 921	2022
56	São Domingos do Sul - RS	Lei Municipal nº 1.630	2022

APÊNDICE II

Resultados da pesquisa “5 perguntas em 5 minutos” realizada entre 06 de setembro de 2022 e 28 de outubro de 2022.

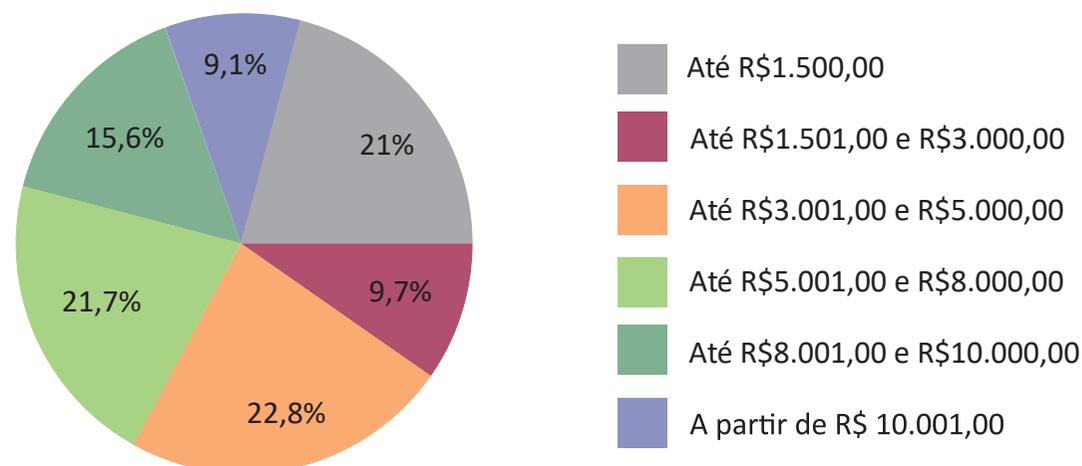
SEXO

1.236 respostas



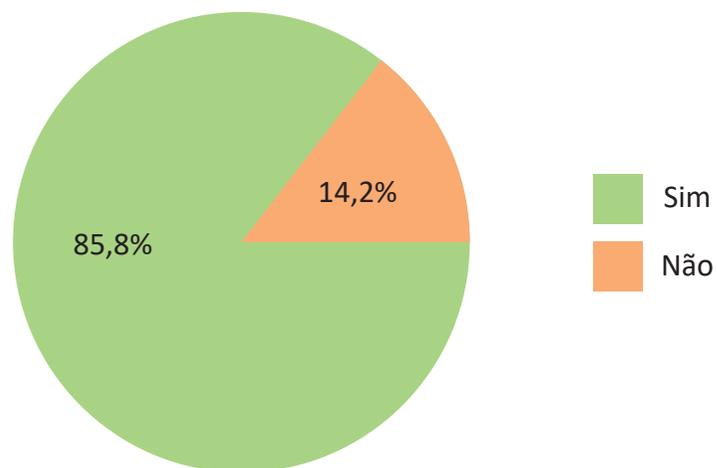
RENDA MÉDIA MENSAL FAMILIAR

1.236 respostas



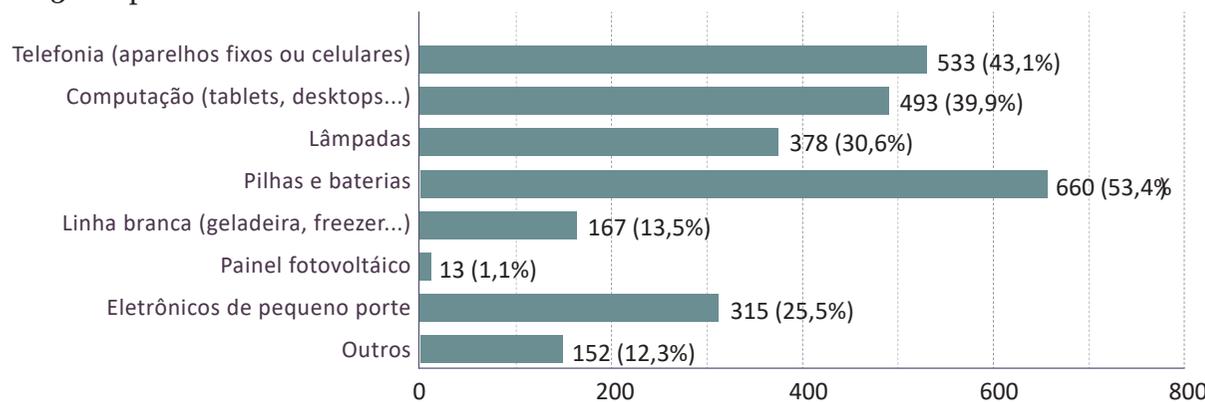
VOCÊ POSSUI EM SUA RESIDÊNCIA ALGUM EQUIPAMENTO ELETRÔNICO QUE NÃO FUNCIONA MAIS (IMPRESSORA, CELULAR, CALCULADORA, TELEFONE, LIQUIDIFICADOR, GELADEIRA)?

1.236 respostas



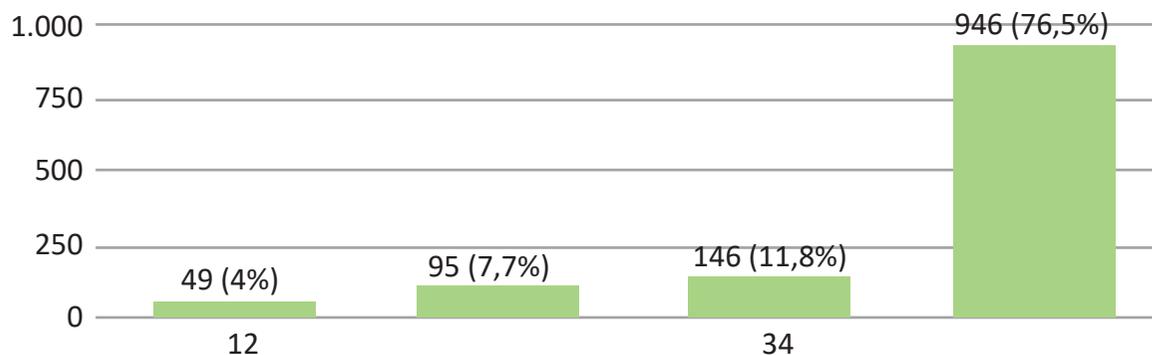
Quais dessas categorias você teria hoje em sua casa e gostaria de descartar (identifique uma ou mais categorias)?

1.236 respostas



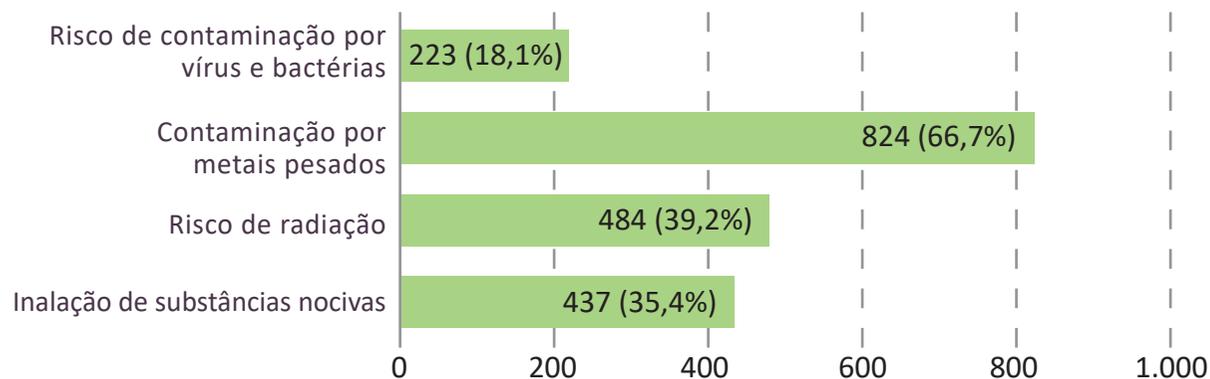
Na sua opinião, qual a importância de se descartar corretamente os equipamentos eletroeletrônicos após seu consumo?

1.236 respostas



Quais desses riscos você acha que estão relacionados ao descarte inadequado dos resíduos eletroeletrônicos?

1.236 respostas



APÊNDICE III

Itens do Decreto nº 10.240 de 2020 para os quais não foi possível atribuir relação direta entre o código de produção (IBGE) e códigos NCM (importação e exportação).

1	Abridor de vinho elétrico
2	Abridor elétrico de latas
3	Amplificador de áudio
4	Antena digital
5	Aparador de grama
6	Atendedor automático (exemplo: secretária eletrônica)
7	Autofalante
8	Autorrádio
9	Babá eletrônica
10	Bateria externa
11	Blu-ray player
12	Cabos e conectores em geral
13	Caixa de som
14	Câmera de segurança
15	Câmera de vídeo
16	Cartucho de tinta ou toner
17	Chuveiro elétrico ou eletrônico
18	Coifa com dimensão horizontal de, no máximo, 120 cm (cento e vinte centímetros)
19	Conversor de corrente contínua
20	Conversor digital
21	CPU-Central Process Unit
22	Depurador de ar
23	Ducha elétrica
24	Escova de dente elétrica (airfloss)
25	Esmerilhadeira

26	Estabilizador e regulador de tensão
27	Faca elétrica
28	Fechador elétrico de latas
29	Ferramenta para cortar relva ou para outra atividade de jardinagem
30	Fone de ouvido
31	Furadeira
32	Gravador (Digital Video Recorder-DVR)
33	Gravador de áudio
34	Gravador de vídeo
35	Headset
36	Lanterna elétrica
37	Lavadora de jato de água
38	Lixadeira
39	Máquina de algodão doce
40	Máquina de costura
41	Máquina de cupcake
42	Máquina de escrever elétrica e eletrônica
43	Máquina de pão (panificadora)
44	Máquina de sorvete
45	Mídias utilizadas em equipamentos eletroeletrônicos (exemplo: CD, DVD, VHS, cassete e disquete)
46	Nobreaks
47	Parafusadeira
48	Pistola aplicadora de cola
49	Podador de cerca viva

50	Produto ou equipamento de uso doméstico para transmitir som, imagem ou outras informações por telecomunicação
51	Produto ou equipamento para coletar, armazenar, tratar, apresentar ou comunicar informações por via eletrônica
52	Protetor de linha
53	Purificador de água
54	Rádio portátil
55	Relógio (de sala, de pulso ou de mesa) e aparelho para medir, indicar ou registrar o tempo
56	Reprodutor de mídia (exemplo: aparelho de reprodução e gravação de som e aparelho VHS de gravação e reprodução de vídeo)
57	Resistência elétricas ou eletrônica
58	Roteador
59	Serra elétrica
60	String box
61	Telex
62	Torneira elétrica
63	Adaptador wireless USB - Universal Serial Bus
64	Câmera externa de telefone celular
65	Câmera fotográfica digital
66	Cartucho de videogame
67	Console de videogame portátil
68	Jogo de videogame
69	Modem
70	Módulo de gerenciamento e processamento de dados (switch de rede de internet)
71	Projeto de vídeo

72	Scanner
73	Tela de projeção
74	Transmissor e receptor bluetooth
75	Adaptadores em geral
76	Aparelho de aquecimento elétricos para ambiente
77	Aparelho para engomar, alisar e tratar o vestuário
78	Aspirador de janela
79	Balança
80	Blender
81	Bomba de jardim
82	Campinha cigarra eletrônica
83	Campinha eletrônica
84	Carregadores em geral (power bank)
85	Climatizador de ar elétrico
86	Computador para ciclismo, mergulho, corrida, remo e outras atividades desportivas
87	Copiadora
88	Cortina de ar
89	Desumidificador de ar
90	Distribuidor automático de bebida quente (máquina de consumo)
91	Dock station
92	Enceradeira
93	Equipamento desportivo com componente elétrico ou eletrônico
94	Etiquetadora e rotulador eletrônico
95	Extrator de leite elétrico
96	Fonte universal para notebook
97	Fragmentadora de papel

98	Hub (concentrador)
99	Instrumento musical
100	Limpadora a vapor
101	Limpadora de carpete
102	Óculos 3D
103	ODD - External Optical Drive
104	Painel fotovoltaico
105	Passadeira a vapor
106	Pia fogão
107	Piano
108	Pipoqueira
109	Pulverizador elétrico
110	Relógio smart
111	Teclado (instrumento musical)
112	Umidificador
113	Vaporizador de roupa
114	Variador de luminosidade (dimmer)
115	Variador de ventilador