

Remanufatura Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos e a Economia Circular

JOSÉ LUIZ ROMERO DE BRITO
UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO UNINOVE

MAURO SILVA RUIZ

CLÁUDIA TEREZINHA KNIESS
UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO UNINOVE

MARIO ROBERTO DOS SANTOS
UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO

Remanufatura Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos e a Economia Circular

1 INTRODUÇÃO

Questões como reciclagem e desenvolvimento sustentável estão crescendo em importância. Esses aspectos são mais proeminentes em países em desenvolvimento, nos quais existem muitas atividades informais de reciclagem e poucas legislações ambientais que regulam a gestão de resíduos (Guarnieri, Silva, Xavier, & Chaves, 2020).

O contínuo aumento na geração de resíduos sólidos numa sociedade com consumo acentuado, além de promover consideráveis adversidades ao meio ambiente, impacta negativamente a qualidade de vida da população (V. E. Campos, 2014). Nesse sentido, Castro e Araújo (2004) afirmaram que os padrões de consumo e produção, vêm contribuindo para o aumento diário da quantidade de resíduos de toda espécie.

A tendência de esgotamento de as matérias-primas e práticas ineficientes de gestão de resíduos, são alguns dos fatores que estão obrigando as empresas a enfrentar esses desafios e repensar o seu modelo de negócio, saindo do processo linear tradicional e a adotar os princípios da economia circular (Rosa, Sassanelli, & Terzi, 2019). A Ellen Macarthur Foundation (EMF, 2013) alertou que os últimos 150 anos de evolução industrial foram dominados por esse modelo linear de produção e consumo, no qual os bens são fabricados a partir de matérias-primas, vendidos, usados e depois descartados como resíduos.

Entre os bens que são normalmente descartados após o uso, estão os equipamentos eletroeletrônicos (EEE) e seus resíduos (REEE) (Islam & Huda, 2018). A recuperação dos resíduos desses produtos, vem despertando o interesse da sociedade (Atlason, Giacalone, & Parajuly, 2017; Mathieux, Recchioni, & Ardente, 2014), pois contêm tanto materiais tóxicos quanto valiosos (Islam & Huda, 2018, 2019; Zhang, Geng, Zhong, Dong, & Liu, 2019). São encontrados metais como cobre, ouro e prata, além de materiais críticos como tungstênio, nióbio e cobalto. Assim, nas últimas duas décadas, muitos países estabeleceram formas, para recuperar esses materiais estratégicos e críticos dos resíduos eletrônicos (Guarnieri et al., 2020).

Entre os processos de recuperação está a logística reversa que enseja o fluxo reverso de REEEs e de EEEs em fim de vida útil e que têm possibilidade de reuso pós-remanufatura ao longo da cadeia de suprimentos ou pelos consumidores finais. Dentro deste contexto, este estudo, analisou a cadeia de remanufatura reversa desses equipamentos e seus resíduos no âmbito da cadeia de produtos da Recicladora Urbana, com sede na cidade de Jacareí, no Estado de São Paulo, e a sua interação com a economia circular.

Os equipamentos eletroeletrônicos (EEE) aqui avaliados, são classificados em quatro linhas de produtos (Saraiva, 2013), conforme mostrados na Figura 1.

Figura 1 – Linhas dos equipamentos eletroeletrônicos

Linhas	Branca	Marron	Azul	Verde
Eqptos	Refrigeradores, Fogões, Lavadoras de roupas, Condicionadores de ar	Televisores tubo LCD/plasma, Monitores DVD/VHS, Produtos de áudio, Câmeras e filmadoras	Batedeiras, Liquidificadores, Fornos elétricos, Furadeiras	Desktop, Notebook, Impressoras, Celulares, Monitores

Fonte: Saraiva (2013).

Este artigo está delineado da seguinte forma: após esta introdução, na seção dois é apresentado o referencial teórico, na seção três, os procedimentos metodológicos, na seção quatro os resultados e as discussões, e, na seção cinco, as considerações finais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Os temas abordados neste referencial teórico são: geração de resíduos, Política Nacional de Resíduos Sólidos, remanufatura reversa de EEEs, recolhimento de REEEs, economia circular e reaproveitamento dos REEEs.

2.1 GERAÇÃO DE RESÍDUOS E A POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

O termo sustentabilidade, basicamente, está relacionado à perenidade de uma organização, nos mais variados setores (privado, público ou terceiro setor), ou seja, é o resultado do equilíbrio entre as três dimensões clássicas da sustentabilidade, ambiental, econômica, e social, conhecidas como *Triple Bottom Line* (Elkington, 1998).

A sustentabilidade está relacionada ao desenvolvimento sustentável, que tem como conotação o aproveitamento racional (extração e utilização) dos recursos naturais não renováveis para atender as necessidades dos seres humanos, sem causar dilapidação, e gerar riquezas para as futuras gerações (Florissi, 2009).

A urbanização periférica e desigual vem se intensificando, afetando as grandes cidades e regiões metropolitanas e é mencionada como um fenômeno mundial (Maricato, 2003). No Brasil, esse fenômeno se deu em razão de alguns fatores como a migração das populações das áreas rurais para as áreas urbanas e o crescimento da industrialização nas grandes cidades no século passado. Com isso, as cidades ganharam importância, pois passaram a ser vistas como uma área de criação de riqueza e emprego. Porém, com o passar dos anos, as cidades passaram a ter uma série de desafios em razão do grande número de habitantes, o que originou vários aspectos negativos como, por exemplo, degradação ambiental, exclusão social, insegurança, congestionamentos e aumento da geração de resíduos sólidos, como os REEEs (Abiko & Moraes, 2009).

Resíduos sólidos são definidos pela norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação, como aqueles resíduos que resultam de atividade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição (ABNT, 2004).

O Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2016), cita que a correta destinação dos resíduos sólidos é condição primordial para uma cidade sustentável, pois a busca por soluções adequadas ambientalmente, socialmente e financeiramente viáveis, nessa área, reflete a demanda da sociedade, que anseia por mudanças motivadas pelos elevados custos socioeconômicos e ambientais. Se manejados adequadamente, os resíduos sólidos adquirem valor comercial e podem ser utilizados em forma de novas matérias-primas ou novos insumos ao retornar para a cadeia produtiva.

A gestão dos resíduos sólidos, é orientada no Brasil, pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010. A PNRS definiu um conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, metas e ações a serem adotados com vistas ao gerenciamento ambientalmente adequado de resíduos sólidos. Estabelece a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos e incumbe ao poder público local – distrito federal e municípios – a gestão integrada dos resíduos sólidos gerados em seus respectivos territórios (PNRS, 2010).

Um dos conceitos relevantes na PNRS (2010), para o gerenciamento dos resíduos sólidos é a logística reversa. A PNRS (2010) obriga fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, estruturar e implementar sistemas de logística reversa, mediante retorno dos produtos após o uso pelo consumidor, assegurando assim o reaproveitamento ou a destinação ambientalmente correta para os resíduos.

Uma das definições clássicas de logística reversa, conforme Rogers e Tibben-Lembke (1998), é apresentada pelo The Council of Logistics Management, como o processo de

planejamento, implementação e controle do fluxo eficiente e econômico de matérias-primas, inventário dos materiais em processo, produtos acabados e das informações relacionadas a esse fluxo, desde o ponto de consumo final do produto até o ponto de origem da produção, com o objetivo de recuperar valor ou promover o descarte adequado dos produtos.

A potencial recuperação de recursos materiais valiosos e as práticas comerciais sustentáveis, nos últimos vinte anos, revelou que o conceito de logística reversa tem sido aceito e praticado em indústrias de manufatura (Islam & Huda, 2018). É reconhecida como parte importante da economia circular, proporcionando a reavaliação dos REEEs, inserindo-os novamente em um novo processo de produção (Guarnieri et al., 2020), sendo, portanto essencial, melhorar a coleta, o tratamento e a reciclagem dos produtos no final de sua vida útil (Qiang & Zhou, 2016).

O processo incorpora o manejo e o gerenciamento de EEE, produtos, componentes e materiais a serem recuperados e que poderão posteriormente, serem disponibilizados por intermédio de revenda, remanufatura, reciclagem ou reutilização (Costa & Valle, 2006).

A geração de REEEs, pode ser acentuada, principalmente originária dos equipamentos de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC), em razão da obsolescência planejada dos EEEs (Zuidwijk & Krikke, 2008). Obsolescência planejada é a produção de bens com vida útil economicamente curta que obriga os consumidores a repetir as compras diversas vezes (Bulow, 1986), pois, uma nova geração faz uma velha geração se tornar economicamente obsoleta mesmo que fisicamente ainda não seja (Lee & Lee, 1998).

O processo de reaproveitamento de REEEs, tem entre os fatores que o impacta negativamente, o fato de que as empresas que possuem licença ambiental para o processamento e tratamento dos REEEs não processam as placas de circuitos, as placas-mãe e as placas de vídeo de computadores. Esses componentes têm dezessete metais em sua composição e são enviados para países, tais como, Alemanha, Bélgica, China e Japão, para retirar esses e outros componentes com grande valor de mercado. No Brasil, os catadores fazem a coleta do material para repassar aos sucateiros e as empresas que efetuam a desmontagem para a reciclagem; esse mercado é outro fator que dificulta a logística reversa e não favorece o controle dos EEEs para o retorno ao fabricante (Xavier, Carbajosa, Guarnieri, & Duarte, 2013).

Além da logística reversa, a PNRS introduziu também a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto estabelecendo obrigações aos vários atores desse cenário:

[...] 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[...] (PNRS, 2010).

A responsabilidade compartilhada, portanto, envolve todos os atores atuantes nas várias cadeias de resíduos sólidos, buscando otimizar o aproveitamento dos recicláveis, minimizar os volumes de rejeitos gerados e orientar a destinação ambientalmente adequada aos resíduos inservíveis.

Outro item da PNRS é o acordo setorial. O propósito do acordo setorial é a implantação de sistema de logística reversa de abrangência nacional para os EEEs, e esse processo será regulamentado via acordo setorial, termo de compromisso ou regulamento.

2.2 REMANUFATURA REVERSA DE EEEs E RECOLHIMENTO DE REEEs

A recuperação de produtos e componentes busca agregar valores ambientais e econômicos à fase de descarte do produto e as estratégias de fim de vida são alternativas que

sustentam essa recuperação. Diferentes estratégias de final de vida, bem como suas principais características, são abordadas na literatura. Reutilização, reparo, reforma / recondicionamento, reciclagem e remanufatura estão entre os mais utilizados (Saavedra, Barquet, Rozenfeld, Forcellini, & Ometto, 2013).

A remanufatura tem como perspectiva, a restauração de produtos à condição de novos, possibilitando oferecer aos consumidores a mesma qualidade e garantia que a eles são oferecidas pelo fabricante do equipamento original (Gray & Charter, 2006; Saavedra et al., 2013). Pode ser considerada como uma estratégia relevante para a conservação de recursos e melhorar o desempenho do ciclo de vida de um produto (Ardente, Peiró, Mathieux, & Polverini, 2018).

A remanufatura reversa de EEEs, refere-se à recuperação de produtos e componentes desses equipamentos. O processo de remanufatura começa com a coleta da carcaça ou *core* (produto usado). As etapas subsequentes são a desmontagem total do produto, a limpeza de partes, a inspeção e armazenamento das partes, o recondicionamento e troca das partes e a remontagem do produto. Além disso, ao longo do processo são realizados testes para garantir a qualidade do produto (Saavedra et al., 2013; Sundin, 2004). Zhang et al. (2019) advertiram que se esses resíduos não forem tratados adequadamente, os materiais valiosos a eles incorporados serão desperdiçados, implicando que mais matérias-primas precisam ser extraídas e processadas para produzir novos produtos.

Os principais atores que atuam na remanufatura reversa de EEEs são: i) Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica (ABINEE, 2017) e Green Eletron que atuam como representantes de fabricantes e importadores; ii) cooperativas de catadores e catadores independentes e/ou informais que são reconhecidos como atores importantes na implementação da PNRS; iii) desmontadoras que fazem triagem, descaracterização e venda de partes de EEEs e REEEs; e iv) recicladoras propriamente ditas de metais, plásticos e componentes.

Quanto ao recolhimento de REEEs, Demajorovic, Augusto e Ventre (2016) consideraram que as cooperativas podem ajudar a superar alguns desafios que estão presentes no fluxo reverso de materiais pós-consumo no Brasil. Essa visão baseia-se na perspectiva de que as cooperativas podem assumir as atividades de coleta, separação e comercialização dos referidos materiais em situações em que as empresas geradoras não tenham interesses na condução desses processos. Para esses autores, essa relação poderia contribuir para sustentação das operações das cooperativas, que é um dos principais problemas de praticamente todas elas, porém, prevê-se que os acordos setoriais, previstos na PNRS, poderão impactar negativamente os resultados das cooperativas de catadores.

A legislação, apesar de ser fundamental, ainda não estimula as empresas a buscarem efetivamente soluções de logística reversa. Além disso, distribuidores, atacadistas, varejistas e o comércio que integraram a cadeia reversa estão ainda longe dos debates. A participação seria fundamental para ampliar a entrega de resíduos nas cooperativas. As cooperativas de catadores têm importância para o gerenciamento dos resíduos sólidos, portanto uma parceria entre essas organizações, fabricantes e importadores de eletroeletrônicos pode contribuir para viabilizar a logística reversa, minimizando os impactos ambientais e proporcionando melhores condições de trabalho para os catadores que atuam nas cooperativas. As cooperativas já estruturadas e dotadas de equipamentos e infraestrutura adequadas podem realizar de forma eficiente e segura a atividade, trazendo benefícios para os parceiros e a sociedade (Demajorovic, Augusto, & Ventre, 2013).

Embora o atual gerenciamento dos processos de recuperação de produtos em fim de vida dependa principalmente das técnicas convencionais de coleta e processamento de resíduos para recuperação de materiais, com a crescente discussão sobre economia circular, opções como reutilização, reforma e remanufatura se mostram cada vez mais relevantes para os produtos eletrônicos (Atlason et al., 2017).

2.3 ECONOMIA CIRCULAR E O REAPROVEITAMENTO DOS REEES

A economia tradicional, conhecida como linear, é usada para descrever sistemas que geram produtos e resíduos, os quais acabam resultando em descarte e poluição no meio ambiente, sendo prejudiciais tanto à saúde humana, quanto ao meio ambiente (Sikdar, 2019). O sistema de produção associado a economia tradicional está ficando sem recursos, causando volatilidade de preços, incertezas e crises econômicas (Fischer & Pascucci 2017).

Pearce e Turner (1990, como citado em Su, Heshmati, Geng, & Yu, 2013) sugeriram a necessidade de criar um sistema econômico fechado, no qual a economia e o meio ambiente não se relacionam por interligações lineares, mas por uma relação circular. Propuseram um circuito fechado de fluxos de materiais na economia, que foi denominado “economia circular”.

A economia circular visa aumentar a eficiência do uso de recursos, com foco principalmente nos resíduos urbanos e industriais, para obter melhor equilíbrio e harmonia entre economia, meio ambiente e sociedade (Ghisellini, Cialani, & Ulgiati, 2016). É uma abordagem que promove o uso responsável e cíclico de recursos (Moraga et al., 2019) e é um conceito impulsionado pela União Europeia (UE), por governos, tais como, China, Japão, Reino Unido, França, Canadá, Holanda, Suécia e Finlândia, bem como por várias empresas (Korhonen, Honkasalo, & Seppälä, 2018).

Consiste em um ciclo de desenvolvimento positivo contínuo, que preserva e valoriza o capital natural, aperfeiçoa a geração de recursos, reduz riscos sistêmicos administrando estoques finitos e fluxos renováveis, funcionando de forma eficaz em qualquer escala. Esse modelo econômico busca desvincular o desenvolvimento econômico global do consumo de recursos finitos (EMF, 2015).

Uma das expectativas sobre a economia circular é que promova o crescimento econômico criando novas empresas e oportunidades de emprego, diminua o custo dos materiais, amortecia a volatilidade dos preços, melhore a segurança do fornecimento e, ao mesmo tempo, reduza as pressões e os impactos ambientais (Kalmykova, Sadagopan, & Rosado, 2018).

Verifica-se na literatura que economia circular não tem um consenso entre os autores, sobre uma definição única. Kirchherr, Reike e Hekkert (2017), por exemplo, reuniram em seu estudo, 114 definições. Os autores propuseram defini-la como um sistema econômico que substitui o conceito de "fim de vida" dos produtos, por redução, reutilização alternativa, reciclagem e recuperação de materiais nos processos de produção / distribuição e consumo. Atua em três níveis: micro (produtos, empresas, consumidores); meso (parques eco industriais); e macro (cidade, região, nação e além delas). O objetivo é alcançar o desenvolvimento sustentável, criando qualidade ambiental, prosperidade e equidade social, em benefício das gerações atuais e futuras, alavancado por novos modelos de negócios e consumidores responsáveis.

A economia circular é regenerativa e restaurativa pela sua concepção, com o objetivo de manter o valor e a utilidade dos componentes e materiais o maior tempo possível. Esse conceito diferencia o ciclo técnico do biológico, pois como o ciclo técnico está relacionado ao gerenciamento dos estoques de materiais finitos, o uso substitui o consumo. Os materiais técnicos são recuperados e restaurados nesse ciclo. Já o ciclo biológico incorpora os fluxos de materiais renováveis, o consumo e os nutrientes renováveis (biológicos) que são regenerados e só ocorrem nesse ciclo (EMF, 2015). São três princípios básicos para a sua implementação: i) projetar a não geração de resíduos; ii) criar resiliência por meio do estímulo à diversidade e mudança para fontes de energia renováveis; e iii) pensar de forma sistêmica e em cascatas (EMF, 2013).

Rosa et al. (2019), sobre a relação entre economia circular e REEE, detectaram benefícios na adoção da economia circular, os quais foram categorizados com base *Triple Bottom Line*:

- a) econômicos: redução global dos custos (melhoria as vendas e a margem de lucro); redução dos riscos do negócio; abertura de novas fontes de receita; redução da complexidade dos produtos / processos.
- b) ambientais: cumprimento das regulamentações ambientais; redução dos impactos ambientais; melhoria da eficiência dos recursos; melhoria da sustentabilidade da cadeia de suprimentos.
- c) sociais: melhoria da reputação e do valor da marca; atingimento de novos mercados e países; melhoria da saúde e a segurança nos locais de trabalho; desenvolvimento de habilidades e conhecimentos inovadores.

Ressalte-se que, tanto a economia circular quanto a logística reversa, dão importância ao reaproveitamento dos REEEs, pois é uma forma adequada de tratar a cadeia de fornecimento de insumos, por meio de tecnologias, cada vez mais disponíveis, e também de maximizar a reutilização dos resíduos ou parte deles após o ciclo de vida. O desenvolvimento econômico desses processos industriais cria a oportunidade de inserir esses materiais em uma economia circular (Akçil, Agcasulu, & Swain, 2019), pois, as estratégias de economia circular incentivam, entre outras ações, o prolongamento da vida útil dos produtos (Vanegas et al., 2018).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa é de natureza exploratória com abordagem qualitativa (Martins & Theóphilo, 2009). Esta pesquisa foi fundamentada no método de estudo de caso (Yin, 2015). Foram realizadas as seguintes etapas: definição do objeto de estudo; levantamento bibliográfico; levantamento documental; realização de visita técnica à RU; contatos com especialistas; elaboração dos instrumentos de pesquisa; execução da pesquisa.

O caso do estudo consistiu no levantamento de evidências relacionadas à atuação da RU na remanufatura reversa de EEEs e seus resíduos, de forma descritiva, a abordagem qualitativa se revelou a mais adequada para atingir os objetivos que foram delineados para a pesquisa.

Yin (2015) considera como unidade de análise de um estudo aquilo que se pretende estudar e avaliar, dependendo do ramo de atividade ao qual se está vinculado. Dessa forma, a unidade de análise pode ser uma indústria, uma entidade qualquer da sociedade, a economia de um país, o fluxo de capitais entre nações, ou mesmo um indivíduo, cada qual com suas circunstâncias e peculiaridades. No caso do estudo em questão, a unidade de análise é a cadeia de remanufatura reversa de EEEs em fim de vida útil e de seus resíduos, nucleada pela RU de Jacareí - SP.

A amostra para a realização de entrevistas foi composta por representantes das cinco organizações: Recicladora Urbana, Sinctronics; Green Eletron - gestora de logística reversa; Cooperativa Coopernova Cotia Recicla (ONG); e Secretaria de Meio Ambiente (SMA) da Prefeitura do Município de Jacareí, conforme mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Organizações, representantes e cargos dos entrevistados

Organizações	Representantes Entrevistados	Cargos
Recicladora Urbana	R1	Diretor Fundador
ABINEE/Green Eletron	R2	Analista Sustentabilidade
Sinctronics	R3	Gerente de L.R.
Coopernova Cotia Recicla	R4	Supervisora dos Catadores
SMA de Jacareí	R5	Assessora Técnica

Fonte: Elaborado pelos autores.

As entrevistas tiveram duração média de 1 hora e, com exceção da realizada na SMA de Jacareí, foram gravadas e transcritas posteriormente para facilitar a análise. Os nomes de todos os entrevistados foram mantidos no anonimato para preservação de suas identidades.

Após a transcrição das entrevistas, procedeu-se à triangulação das informações com as informações oriundas dos levantamentos bibliográficos e documentais.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

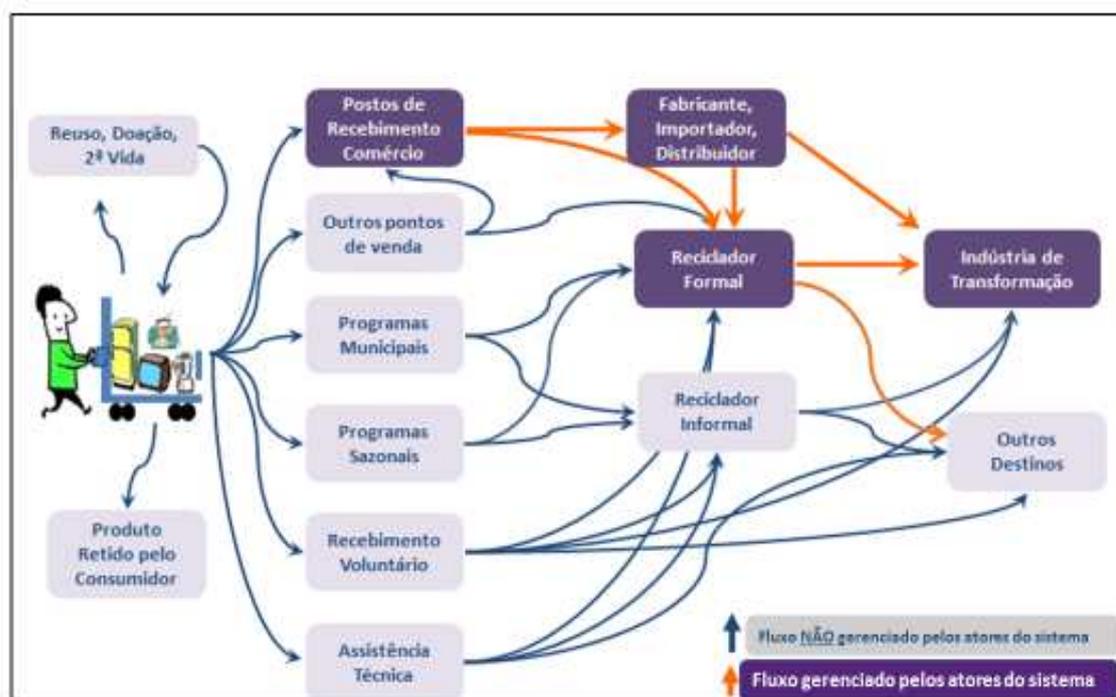
Neste item, serão apresentados os resultados da pesquisa.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA CADEIA DE REMANUFATURA REVERSA DE EES

A remanufatura reversa de EEs e REEs, é um conjunto de etapas consecutivas que compõem o fluxo reverso desses equipamentos, em fim de vida útil, e de seus resíduos, dos consumidores finais até o fabricante / importador / distribuidor e os recicladores formais.

A Figura 3 apresenta a cadeia de manufatura reversa de EEs desde a entrega pelo consumidor e mostra dois tipos de fluxos. O primeiro, refere-se ao fluxo gerenciado pelos atores de um sistema implantado em uma estrutura local e/ou regional, que envolve a entrega dos EEs em desuso e os REEs em postos de recebimento do comércio. Posteriormente, seguem para o fabricante, o importador e o distribuidor ou para um reciclador formal e, depois, para a indústria de transformação no caso dos resíduos ou para outros usos no caso dos equipamentos remanufaturados. O fabricante, o importador e o distribuidor também podem enviar os resíduos para um reciclador formal que os encaminhará para a indústria de transformação. No segundo fluxo, os EEs e REEs são recebidos via outros pontos de coleta, programas municipais, programas sazonais, recebimento voluntário, e de assistência técnica e encaminhados, em seguida, para recicladores formais ou informais para, depois, seguirem para a indústria de transformação.

Figura 3 – Cadeia de remanufatura reversa de EEs



Fonte: Adaptado de Saraiva (2013).

Observa-se que existe uma maior incidência de fluxo de REEEs, via recicladores informais, até a indústria de transformação devido à existência de grande quantidade em todo país.

Segundo Islam e Huda (2019), esses resíduos possuem uma estrutura material complexa e envolve múltiplos atores na cadeia reversa, portanto, a identificação do fluxo dos materiais no cenário da gestão de resíduos, é uma tarefa essencial sob o conceito holístico de uma economia circular, cadeia de fornecimento de circuito fechado e desenvolvimento sustentável.

4.2 A RECICLADORA URBANA NA CADEIA DE REMANUFATURA REVERSA DE EEES

A Recicladora Urbana (RU) atua na coleta e descaracterização de EEES em fim de vida útil e de REEEs, tanto na perspectiva do mercado *Business to Business* (B2B) como *Business to Consumer* (B2C). A RU foi fundada em 2 de agosto de 2010 com a razão social Soatech Comércio e Reciclagem de Eletroeletrônicos Ltda. O objeto da empresa é focado nas seguintes atividades: i) recolhimento dos REEEs e recepção dos EEES em desuso ou fim de vida; ii) descaracterização dos REEEs e remanufatura dos EEES; iii) venda de partes, peças, componentes e resíduos; e iv) venda e/ou doação para ONGs e entidades assistenciais. A empresa é certificada pelo Sistema B, membro da Fundação Ellen MacArthur, contribuindo com a economia circular e seguindo as práticas ambientais do Laboratório de Sustentabilidade da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (LASSU). A empresa também inova com o produto *Remakker*, para atender as entidades do terceiro setor com consciência socioambiental em utilizar computadores recondicionados em seus parques tecnológicos.

Na condição de uma recicladora formal, a RU recolhe e/ou recebe EEES (computadores, *tablets* e impressoras) em fim de vida útil e REEEs de consumidores. Após remanufatura os EEES são destinados às organizações não governamentais (ONGs), hospitais, *call centers* e outras organizações. No caso dos REEEs e as partes, peças e componentes oriundas dos EEES desmontados, estes são encaminhados à indústria de transformação, Sintronics e Flextronics (recicladoras de plásticos); Gerdau e Arcelor Mital (recicladoras de alumínio e aço); e GM&CLog (recicladora de cabos).

Segundo R1, como a logística de transporte é o fator que mais impacta no custo de operações da empresa, ao receber uma proposta de recolhimento de equipamentos em fim de vida útil e/ou de REEEs, o primeiro procedimento adotado é a realização de uma avaliação preliminar considerando a distância do ponto de coleta até a unidade de desmonte em Jacareí. No caso de a perspectiva ser interessante, adota-se os seguintes procedimentos: a) retorno do contato inicial efetuado pela organização interessada no descarte; b) realização do inventário; c) análise da logística necessária para a coleta e dos custos envolvidos; e d) definição dos valores a serem cobrados. Esse fator foi citado por Saavedra et al. (2013), como um grande desafio para a remanufatura devido à dificuldade de prever o volume e o momento do retorno e também as condições de qualidade do produto, dificultando o planejamento operacional da remanufatura.

A RU segue as práticas ambientais do Laboratório de Sustentabilidade (LASSU) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP) e apresenta seus EEES remanufaturados (geralmente computadores) como produtos *Remakker*, os quais são destinados principalmente a entidades do terceiro setor. Ainda segundo R1, essas práticas se alinham com a missão da desmontadora que é viabilizar às empresas, organizações e ao governo condições para o cumprimento seguro, garantido e certificado da gestão sustentável de REEEs em conformidade com a PNRS.

A empresa, além da coleta, transporte, controle e inventário, segregação e descaracterização dos EEES e de seus resíduos, realiza também a “sanitização” de dados e

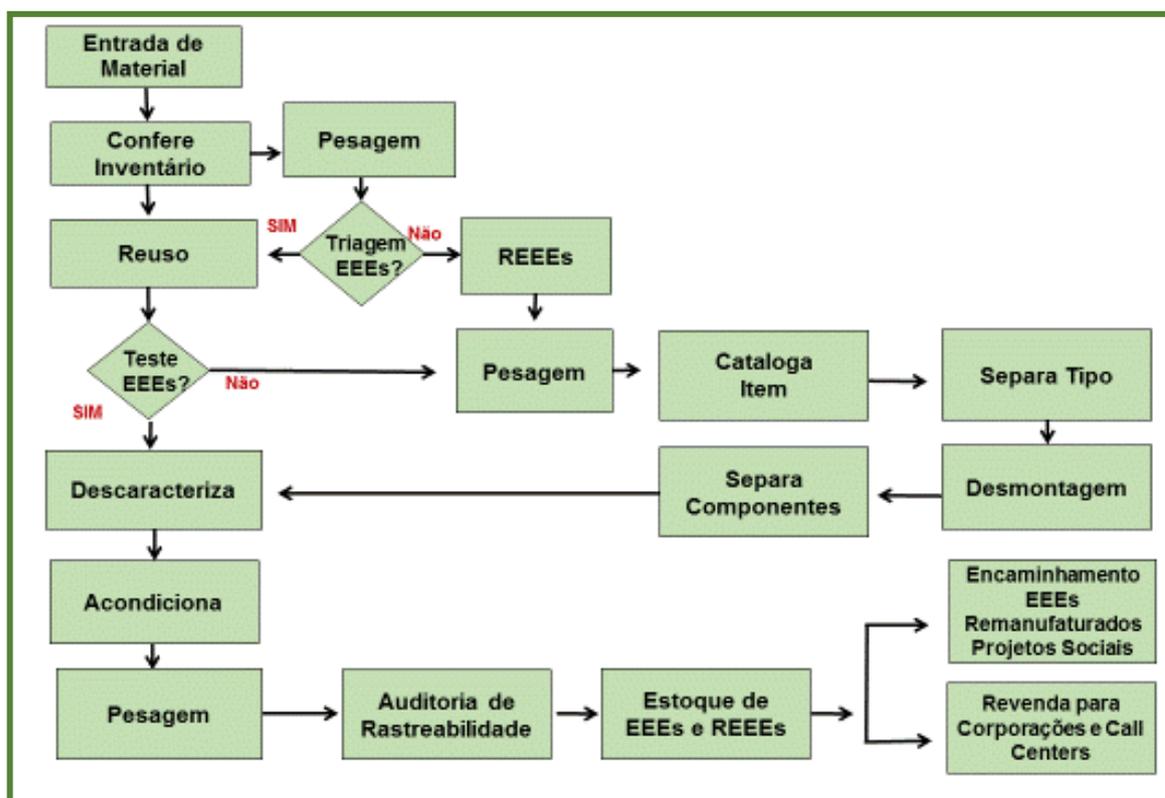
propriedades contidos nos equipamentos, em conformidade com padrões internacionais. Esses padrões se aplicam à manufatura reversa e à destinação ambientalmente correta dos materiais após processamento. Conforme Ardente et al. (2018), a reutilização parcial ou total de um produto pode ser ambientalmente eficaz em termos de impactos eliminados durante a fabricação, economizando recursos e no final da vida útil evitando o descarte.

A Figura 4 apresenta o fluxo de remanufatura reversa de EEEs e REEEs na RU. Pela figura, observa-se que após a entrada de EEEs em fim de vida útil e REEEs, os produtos são conferidos, inventariados e pesados. Na sequência, é feita a triagem para separar os equipamentos com possibilidade de reuso e os resíduos.

Os equipamentos com possibilidade de reuso são testados e se for viável a remanufatura, são descaracterizados para posterior acondicionamento. Os REEEs oriundos dessa triagem são pesados, catalogados, separados por tipos, desmontados, os diversos componentes são separados e encaminhados para descaracterização. Neste estágio, as partes reaproveitáveis são alocadas com os EEEs remanufaturados e acondicionados, pesados, passam por uma auditoria de rastreabilidade, e depois são estocados para posterior encaminhamento a projetos sociais ou para a revenda.

Nesse processo é importante definir uma métrica que possa avaliar a facilidade de desmontagem e assim, quantificar a viabilidade de desmontar componentes sem destruí-los para que se possa reutilizar, reparar e remanufaturar de acordo com a visão de uma economia circular (Vanegas et al., 2018).

Figura 4 – Fluxo de remanufatura reversa de EEEs e REEEs na RU



Fonte: Adaptado de Recicladora Urbana (2017).

Um dos problemas enfrentados pela RU, mencionados por R1, são os catadores ilegais ou sucateiros que atuam como concorrentes diretos ao negócio. Segundo H. K. T. Campos (2014), os resíduos no Brasil são geralmente gerenciados misturando atores formais na coleta regular e atores informais na coleta seletiva e na recuperação de resíduos. O grande desafio é

integrar o informal, garantindo condições adequadas de trabalho, aumentando a eficiência da coleta e melhorando os métodos de tratamento de resíduos.

Outro problema mencionado por R1 é o baixo valor pago por quilograma (kg) das partes, peças e componentes recuperados dos EEEs e seus resíduos (aço, plásticos, alumínio). Como os custos de transporte desde os pontos de coleta até a unidade de reciclagem são elevados, na visão de R1, é economicamente inviável uma desmontadora sobreviver atuando somente no segmento dos EEEs. Esta é uma das razões pelas quais a RU faz coleta em situações bem específicas, dependendo da empresa, da quantidade de EEEs e REEEs descartados, da distância envolvida e da logística necessária. Outro aspecto destacado como limitante da capacidade produtiva é o tempo de processamento dos EEEs, devido a diversidade de partes, peças e componentes. Fato esse alertado por Mathieux et al. (2014), sobre a necessidade de um método padronizado para medir o tempo de extração dos principais componentes dos produtos para melhoria do processo.

A redução do tempo de desmontagem e dos custos relacionados aumentará a viabilidade econômica da extensão da vida útil do produto e aumentará a viabilidade de uma economia circular nas regiões industrializadas. Além disso, a desmontagem tem o potencial de aumentar significativamente o rendimento de reciclagem e a pureza de metais preciosos, metais e plásticos críticos. (Vanegas et al., 2018).

R1 enfatizou ainda que um dos diferenciais do mercado dessa desmontadora, reside na criação dos produtos *Remakker*, especialmente *notebooks* e *desktops* reconicionados que são reinseridos no mercado de remanufaturados com garantias similares às de produtos novos. Características essas, de acordo com a visão de economia circular (Vanegas et al., 2018).

A possibilidade de remuneração pelos serviços prestados pelas desmontadoras a partir da assinatura do acordo setorial é vista por R1 como uma oportunidade para que a empresa tenha uma atuação economicamente mais sustentável no segmento de EEEs.

4.3 INTER-RELAÇÃO DA RU COM OS ATORES DA CADEIA DE REMANUFATURA REVERSA DE EEEs

A Figura 5 mostra a inter-relação da RU com os fornecedores, parceiros e destinatários dos REEE e EEEs remanufaturados.

Figura 5 - Inter-relação da RU no contexto da reciclagem e da remanufatura de EEEs



Fonte: Resultado da pesquisa.

Os principais fornecedores de equipamentos usados e REEEs à RU são bancos, indústrias, escolas, clínicas médicas e usuários domésticos. Entre as organizações que recebem os EEEs remanufaturados destacam-se o Programa Jovens Aprendizes, a ONG Recode e a Techsoup Brasil.

O Programa Jovens Aprendizes é uma iniciativa de uma organização social que busca formar jovens autônomos, conscientes e conectados, aptos a reprogramar o sistema em que estão inseridos por meio do uso da tecnologia. Atua em parceria com centros comunitários, bibliotecas e escolas públicas para formar multiplicadores numa metodologia própria, e que replicam os programas para o público final. Essas organizações formam uma grande rede de educadores, professores e bibliotecários para promover uma nova consciência e gerar oportunidades aos jovens brasileiros (Andrade, Santos, & Jesus, 2016).

A Techsoup Brasil é uma iniciativa da Associação Telecentro de Informação e Negócios (ATN) que, em parceria com a Techsoup Global Network, ajuda organizações sem fins lucrativos a obter produtos e recursos tecnológicos para as suas atividades. A principal tarefa do programa é a doação de licenças de *software* para as entidades do terceiro setor que desenvolvem projetos sociais. A Techsoup Brasil conta com parceiros como a Microsoft, Symantec e Google, que disponibilizam seus produtos para doação (Associação de Apoio à Criança com Câncer [AACCC], 2019). Outras organizações como a Cruz Vermelha, Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (Unesco), também se inserem no elenco de receptores dos EEEs remanufaturados pela RU.

Num contexto mais amplo, a RU também interage com as entidades regulamentadoras e gestoras de resíduos como o IBAMA (órgão expedidor de licença ambiental do Governo Federal), a Cetesb (órgão expedidor de licença ambiental do Governo do Estado de São Paulo), a SMA de Jacareí e a gestora Green Eletron, como mostrado na Figura 5 anteriormente.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observou-se, pelos resultados aqui apresentados, que o mercado de EEEs em fim de vida útil remanufaturados é restrito, sendo os principais destinatários as organizações do terceiro setor que desenvolvem programas sociais para jovens aprendizes e as escolas com poucas condições financeiras, porém, preocupadas em inserir seus alunos no mundo digital.

Verificou-se também que, o EEE remanufaturado é doado pela desmontadora a uma organização não governamental (ONG), podendo obter benefício indireto de dedução do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS). O mercado de EEEs remanufaturados mais comum existente é o de revenda, após reparo, de equipamentos que são devolvidos aos fabricantes e importadores, ainda no período de garantia, em razão de constatação de algum problema pelo cliente. No entanto, conforme relataram Saavedra et al. (2013), ainda existem algumas dificuldades, como a falta de legislação sobre remanufatura, uma desvantagem que impede que seja um mercado mais estruturado no Brasil.

Praticamente foi observado que não há um mercado consolidado de partes, peças e componentes de EEEs pós-consumo, sendo esses materiais encaminhados por desmontadoras às empresas recicladoras. Destaca-se o caso das placas de circuito impresso, placas-mãe e placas de vídeo que apresentam metais preciosos em suas composições, mas em razão do volume e dos investimentos necessários para a instalação de plantas de tratamento no país, são exportadas para países como, por exemplo, Bélgica, Alemanha, Coreia, Japão e China, onde há empresas que extraem esses metais. Esse fato é corroborado por H. K. T. Campos (2014) que citou que, fatores como características locais de resíduos, qualificação, custo e disponibilidade de mão de obra local e adequação tecnológica devem ser considerados para a escolha de uma opção de reaproveitamento.

Verificou-se também que as empresas recicladoras Flextronics (plásticos), Gerdau e Arcelor Mital (alumínio e aço), e GM&CLog (cabos) recebem partes, peças e componentes oriundos dos REEEs explorados pela RU. Esse fato corrobora com a afirmação de Ardente et al. (2018) que a importância da reutilização e remanufatura foi demonstrada pela sua inclusão no conceito de economia circular e de Moraga et al. (2019) que a economia circular é vista como uma política de minimização dos encargos para o meio ambiente e de estímulo da economia.

A implantação da gestora de EEEs, Green Eletron em São Paulo, que tem a perspectiva de atuação em âmbito nacional, constitui-se numa iniciativa interessante, pois tem como objetivo criar um sistema coletivo para operacionalizar a logística reversa de EEEs, de pequeno e médio portes (*notebooks*, impressoras, *tablets*, celulares e seus acessórios), para as empresas associadas à ABINEE e outras que queiram atender as exigências da PNRS. Há expectativa de que essa iniciativa possa ser dinamizada e se tornar promissora a partir da assinatura do acordo setorial de EEEs.

Pode-se inferir, baseado nesta pesquisa, que há um grande potencial de mercado relacionado à logística reversa de REEEs e EEEs em fim de vida, como fonte de matéria-prima e que ainda deverá ser explorado no Brasil. Segundo Akcil et al. (2019), como as matérias-primas são cruciais para o crescimento industrial e a competitividade, no cenário de metais críticos, a economia circular é vital para tecnologias sustentáveis de processamento, reutilização, reciclagem e recuperação.

Uma contribuição prática desta pesquisa, pode ser mencionada a divulgação de processos de remanufatura de equipamentos eletroeletrônicos e reciclagem dos seus respectivos resíduos, estimuladas pela PNRS e dentro de uma política de economia circular. Segundo Atlason et al (2013), em um movimento em direção a uma economia empresarial mais circular, são esforços que buscam diminuir, estreitar e fechar loops de recursos. Essas estratégias garantem a ampla circulação de recursos na sociedade em forma de produtos, componentes e materiais.

Considerando que o Brasil é um grande gerador de REEEs, a destinação adequada destes e dos EEEs em fim de vida útil é um dos temas recorrentes na agenda da sustentabilidade do país, seja nas empresas seja no universo acadêmico, e é essencial a ampliação do debate entre os atores da cadeia remanufatura reversa de EEEs e a academia. Sinha-Khetriwal, Kraeuchi, & Schwaninger (2005) alertaram que a reciclagem de REEEs tornou-se negócio lucrativo tanto em países desenvolvidos como nos países emergentes.

Uma das limitações da pesquisa é que foi abordada somente a cadeia de remanufatura reversa de REEEs nucleada pela Recicladora Urbana, portanto não é possível estender os resultados aqui encontrados para um setor industrial.

REFERÊNCIAS

- Abiko, A., & Moraes, B. O. (2009). *Desenvolvimento urbano sustentável*. [Texto Técnico 29]. Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, SP, Brasil.
- Akcil, A., Agcasulu, I., & Swain, B. (2019). Valorization of waste LCD and recovery of critical raw material for circular economy: A review. *Resources, Conservation & Recycling*, *149*, 622-637. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.06.031>.
- Andrade, J. M., Santos, K. K., & Jesus. (2016). O programa jovem aprendiz e sua importância para os jovens trabalhadores. *Interfaces Científicas*, *4(2)*, 45-54. <http://dx.doi.org/10.17564/2316-381X.2016v4n2p45-54>.
- Ardente, F., Peiró, L. T., Mathieux, F., & Polverini, D. (2018). Accounting for the

- environmental benefits of remanufactured products: Method and application. *Journal of Cleaner Production*, 198, 1545-1558. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.012>.
- Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica - ABINEE. (2017). *A indústria elétrica e eletrônica impulsionando a economia verde e a sustentabilidade*. São Paulo: ABINEE.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2004). *NBR 10004: Resíduos sólidos – Classificação*. Rio de Janeiro: ABNT.
- Associação de Apoio à Criança com Câncer - AACC. (2019). *Techsoup Brasil e AACC*. Recuperado em 17 abril, 2019, de <http://www.aacc.org.br/techsoup-brasil/>
- Atlason, R. S., Giacalone, D., & Parajuly, K. (2017). Product design in the circular economy: Users' perception of end-of-life scenarios for electrical and electronic appliances. *Journal of Cleaner Production*, 168, 1059-1069. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.082>.
- Bulow, J. (1986). An economic theory of planned obsolescence. *The Quarterly Journal of Economics*, 101(4), 729-750. <https://doi.org/10.2307/1884176>.
- Campos, H. K. T. (2014). Recycling in Brazil: Challenges and prospects. *Resources, Conservation and Recycling*, 85, 130-138. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.10.017>.
- Campos, V. E. (2014). *Gestão de resíduos sólidos urbanos: contribuições socioambientais de duas cooperativas de catadores de materiais recicláveis na região do Médio Paranapanema*. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual Paulista, Assis, SP, Brasil.
- Castro, B. A., & Araújo, M. A. D. (2004). Gestão dos resíduos sólidos sob a ótica da Agenda 21: um estudo de caso em uma cidade nordestina. *Revista de Administração Pública*, 38(4), 561-87.
- Costa, L., & Valle, R. (2006). Logística reversa: importância, fatores para a aplicação e contexto brasileiro. *Anais do Simpósio de Excelência Em Gestão e Tecnologia Logística*, Resende, RJ, Brasil, 3.
- Demajorovic, J., Augusto, E. E. F., & Souza, M. T. S. (2016). Reverse logistics of e-waste in developing countries: challenges and prospects for the Brazilian model. *Ambiente & Sociedade*, 19(2), 117-136. <http://doi.org/10.1590/1809-4422ASOC141545V1922016>,
- Demajorovic, J., Augusto, E. E. F., & Ventre, G. R. (2013). Desafios para a inserção de cooperativas de catadores nos fluxos reversos de ree: estudo de caso da COOPERMITI. *Anais do Seminário de Administração*, São Paulo. SP, Brasil, 16.
- Elkington, J. (1998). Partnerships from cannibals with forks: The triple bottom line of 21st-century business. *Environmental Quality Management*, 8(1), 37-51. <https://doi.org/10.1002/tqem.3310080106>.
- Ellen MacArthur Foundation. (2013). *Towards the Circular Economy: Opportunities for the consumer goods sector*. Cowes: EMF. Recuperado em 6 abril, 2018, de https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/TCE_Report-2013.pdf.
- Ellen Macarthur Foundation. (2015). *Rumo à economia circular: o racional de negócio para acelerar a transição*. Cowes: EMF. Recuperado em 10 jun, 2018 de https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Rumo-à-economia-circular_Updated_08-12-15.pdf

- Fischer, A., & Pascucci, S. (2017). Institutional incentives in circular economy transition: the case of material use in the Dutch textile industry. *Journal of Cleaner Production*, 155(Part 2), 17-32. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.038>.
- Florissi, E. (2009). *Desenvolvimento urbano sustentável: um estudo sobre sistemas de indicadores de sustentabilidade urbana*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil.
- Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11-32. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>.
- Gray, C., & Charter, M. (2006). *Remanufacturing and product design: designing for the 7 th generation*. Fanham, Reino Unido: The Centre for Sustainable Design, University College for the Creative Arts.
- Guarnieri, P., Silva, L. C., Xavier, L. H., & Chaves, G. L. D. (2020). Recycling challenges for electronic consumer products to e-waste: a developing countries' perspective. In Khan A., Inamuddin, Asiri A. (eds.), *E-waste Recycling and Management, Environmental Chemistry for a Sustainable World*, Springer, Cham, 33, 81-110. https://doi.org/10.1007/978-3-030-14184-4_5.
- Islam, T., & Huda, N. (2018). Reverse logistics and closed-loop supply chain of Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE)/E-waste: A comprehensive literature review. *Resources, Conservation & Recycling*, 137, 48-75. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.05.026>.
- Islam, T., & Huda, N. (2019). Material flow analysis (MFA) as a strategic tool in E-waste management: Applications, trends and future directions. *Journal of Environmental Management*, 244, 344-361. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.062>.
- Kalmykova, Y., Sadagopan, M., Rosado, L. (2018). Circular economy – From review of theories and practices to development of implementation tools. *Resources, Conservation and Recycling*, 135, 190-201. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.034>.
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: an analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221-232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>.
- Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppälä, J. (2018). Circular economy: the concept and its limitations. *Ecological Economics*, 143, 37-46. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041>.
- Lee, I. H., & Lee, J. (1998). A theory of economic obsolescence. *The Journal of industrial economics*, 46(3), 383-402. <http://doi.org/10.1111/1467-6451.00077>.
- Lei n° 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. Brasília: PNRS.
- Maricato, E. (2003). Metr pole, legisla o e desigualdade. *Estudos Avançados*, 17(48), 151-167. <http://doi.org/10.1590/S0103-40142003000200013>.
- Martins, G. A., & Theóphilo, C. R. (2009). *Metodologia da investiga o científica para ciências sociais aplicadas* (2a ed). São Paulo: Atlas.
- Mathieux, F., Recchioni, M., & Ardente, F. (2014). Measuring the time for extracting components in end-of-life products: needs for a standardized method and aspects to be considered. *Procedia CIRP*, 15, 245-250. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.06.033>.

- Ministério do Meio Ambiente. (2016). *Cidades Sustentáveis*. Brasília: MMA. Recuperado em 19 janeiro, 2018, de <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis>.
- Moraga, G., Huysveld, S., Mathieux, F., Blenginic, G. A., Alaerts, L., Van Acker, K., Meester, S., & Dewulf, J. (2019). Circular economy indicators: What do they measure? *Resources, Conservation & Recycling*, *146*, 452-461. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.03.045>.
- Qiang, S., & Zhou, X. Z. (2016). Robust reverse logistics network design for the waste of electrical and electronic equipment (WEEE) under recovery uncertainty. *Journal of Environmental Biology*, *37*(5), 1153-1165.
- Recicladora Urbana de Jacareí. (2017). *Serviços e Produtos*. São José dos Campos: RU. Recuperado em 5 julho, 2018, de <http://www.recicladoraurbana.com.br/2017-07-13-14-08-08/servicos.html>.
- Rogers, D. S., & Tibben-Lembke, R. S. (1998). *Going backwards: reverse logistics trends and practices*. University of Nevada, Reno: Center of Logistics Management.
- Rosa, P., Sassanelli, C., & Terzi, S. (2019). Circular business models versus circular benefits: An assessment in the waste from electrical and electronic equipments sector. *Journal of Cleaner Production*, *231*, 940-952. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.310>.
- Saavedra, Y. M. B., Barquet, A. P. B., Rozenfeld, H., Forcellini, F. A., & Ometto, A. R. (2013). Remanufacturing in Brazil: case studies on the automotive sector. *Journal of Cleaner Production*, *53*, 267-276. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.03.038>.
- Saraiva, A. (2013). *REEE – Resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos*. Audiência Pública – Grupo de Trabalho sobre Política Tributária e Sustentabilidade. Brasília: Senado Federal. Recuperado em 7 julho, 2018, de <http://legis.senado.leg.br/sdleg-getter/documento/download/30b0c969-1f2b-491d-a72d-bd365dfe6c7b>.
- Sikdar, S. (2019). Circular economy: Is there anything new in this concept? *Clean Technologies and Environmental Policy*, *21*(6), 1173-1175. <https://doi.org/10.1007/s10098-019-01722-z>.
- Sinha-Khetriwal, D., Kraeuchi, P., & Schwaninger, M. (2005). A comparison of electronic waste recycling in Switzerland and in India. *Environmental Impact Assessment Review*, *25*(5), 492-504. <http://doi.org/10.1016/j.eiar.2005.04.006>.
- Su, B., Heshmati, A., Geng, Y., & Yu, X. (2013). A review of the circular economy in China: moving from rhetoric to implementation. *Journal of Cleaner Production*, *42*, 215-227. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.11.020>.
- Sundin, E. (2004). *Product and Process Design for Successful Remanufacturing*. PhD Dissertation, Linköping's Universitet, Linköping, Suécia.
- Xavier, L. H., Carbajosa, J. R., Guarnieri, P. & Duarte, G. M. (2013). Sistema de logística reversa de equipamentos eletroeletrônicos: breve análise da gestão no Brasil e na Espanha. *Anais do Forum Internacional de Resíduos Sólidos*, Porto Alegre, RS, Brasil, 4.
- Yin, R. K. (2015). *Estudo de caso: planejamento e métodos*. Porto Alegre: Bookman.
- Zhang, L., Yong Geng, Y., Zhong, Y., Dong, H., & Liu, Z. (2019). A bibliometric analysis on waste electrical and electronic equipment research. *Environmental Science and Pollution Research*, *26*(21), 21098-21108. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05409-2>.
- Zuidwijk, R., & Krikke, H. (2008). Strategic response to EEE returns: Product eco-design or new recovery processes? *European Journal of Operational Research*, *191*(3), 1206–1222. <http://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.08.004>.