

ECONOMIA CIRCULAR NA INDÚSTRIA ELETROELETRÔNICA: O CASO DA EMPRESA ABC

CIRCULAR ECONOMY IN THE ELECTRONICS INDUSTRY: THE CASE OF THE ABC COMPANY

Fernando Rodrigo de Souza*  E-mail: Fernando.souza59@fatec.sp.gov.br

*Faculdade de Tecnologia de Sorocaba (Fatec SO), Sorocaba, SP, Brasil.

Resumo: O artigo investigou a implementação da economia circular na indústria eletroeletrônica brasileira, utilizando a empresa ABC, especializada em reciclagem de Resíduos Eletroeletrônicos em Sorocaba, São Paulo, como um estudo de caso. O objetivo principal foi analisar como a economia circular pôde ser incorporada nas operações de uma empresa desse setor e os impactos gerados. A metodologia empregada foi de natureza qualitativa e utilizou a técnica de análise temática. Entrevistas foram realizadas com o responsável técnico e o gerente industrial da empresa, juntamente com a revisão da literatura pertinente. A abordagem de estudo de caso foi escolhida devido à sua capacidade de analisar detalhadamente questões de pesquisa complexas, permitindo uma compreensão profunda do "como" e "porquê" das operações da empresa ABC. Os resultados preliminares indicaram que a empresa ABC desempenha um papel fundamental na promoção da economia circular na indústria eletroeletrônica, com uma abordagem que abrangeu desde a logística reversa até a pesquisa e desenvolvimento de novas aplicações para componentes eletrônicos. A empresa se destaca por sua capacidade de transformar resíduos em recursos valiosos, reduzindo o desperdício e o impacto ambiental. No entanto, também enfrenta desafios, como a complexidade da gestão de resíduos e a necessidade de conscientização e cooperação em toda a cadeia de valor. O estudo contribuiu para a compreensão da viabilidade da economia circular na indústria eletroeletrônica e destacou a importância de um compromisso contínuo das partes interessadas para promover a transição para práticas mais sustentáveis.

Palavras-chave: Economia Circular. Indústria Eletroeletrônica. Logística Reversa.

Abstract: The article investigated the implementation of the circular economy in the Brazilian electronics industry, using the company ABC, which specializes in recycling electronic waste in Sorocaba, São Paulo, as a case study. The main objective was to analyze how the circular economy could be incorporated into the operations of a company in this sector and the impacts generated. The methodology employed was qualitative in nature and used the thematic analysis technique. Interviews were conducted with the company's technical manager and industrial manager, along with a review of the relevant literature. The case study approach was chosen because of its ability to analyze complex research questions in detail, allowing an in-depth understanding of the "how" and "why" of ABC's operations. Preliminary results indicated that ABC plays a key role in promoting the circular economy in the electronics industry, with an approach that ranged from reverse logistics to research and development of new applications for electronic components. The company stands out for its ability to turn waste into valuable resources, reducing waste and environmental impact. However, it also faces challenges, such as the complexity of waste management and the need for awareness and cooperation throughout the value chain. The study contributed to understanding the viability of the circular economy in the electrical and electronics industry.

Keywords: Circular Economy. Electronics industry. Reverse Logistics.

1 INTRODUÇÃO

No cenário atual, a economia circular se destaca como uma abordagem revolucionária e imperativa. À medida que a gestão sustentável de recursos assume crescente importância, a economia circular surge como uma resposta eficaz à preocupação global com consumo excessivo, desperdício e degradação ambiental (Piscicelli, 2023).

A economia circular busca substituir o paradigma linear de "extrair, produzir, consumir e descartar" por um modelo que privilegia a redução do desperdício e a eficiência dos recursos. Ela promove a reutilização, reciclagem e recuperação de materiais, redefinindo como empresas operam e como a sociedade lida com produtos e resíduos (Yang *et al.*, 2023).

Este estudo é sobre a aplicação prática da economia circular na indústria eletroeletrônica, usando a empresa ABC como estudo de caso. Situada em Sorocaba, São Paulo, a ABC se destaca como pioneira na promoção de soluções sustentáveis para eletroeletrônicos, com uma abordagem exemplar à economia circular em todas as suas operações, no entanto, é importante destacar que, devido às diretrizes da empresa, não foi possível a divulgação de seu nome, dados estatísticos e fotos que pudessem ilustrar as práticas e resultados específicos da empresa.

Desde a logística reversa até pesquisa e desenvolvimento contínuos e a busca de novos usos para componentes eletrônicos recebidos, a empresa demonstra como os princípios da economia circular podem ser implementados. A logística reversa envolve o processo de planejar, implementar e controlar o fluxo de produtos e materiais de volta à cadeia de suprimentos. É fundamental para a gestão sustentável de resíduos, reciclagem e responsabilidade ambiental. Além de atender a regulamentações, a logística reversa oferece benefícios econômicos e ambientais, promovendo a sustentabilidade e a eficiência (Ding; Wang; Chan, 2023).

O caso da ABC inspira empresas a liderar a transição para um futuro mais sustentável e ambientalmente consciente. O objetivo deste estudo é analisar a abordagem da empresa ABC em relação à economia circular na indústria eletroeletrônica brasileira.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Transição da Economia Linear para a Circular: Desafios, Impactos e Soluções

A Revolução Industrial, que marcou um importante processo de industrialização e desenvolvimento econômico, é um marco histórico fundamental no qual as bases estruturais do modelo de produção e consumo linear foram firmemente estabelecidas. Esse período de transformação tecnológica trouxe consigo avanços que tiveram um impacto significativo na produtividade e na capacidade de produção em massa de produtos manufaturados. Contudo, é imprescindível reconhecer que esses avanços também resultaram em consequências negativas substanciais, incluindo a proliferação de resíduos, a acumulação de rejeitos e o desperdício indiscriminado de energia (Kelly; Mokyr; Ó Gráda, 2023).

Ademais, essa era de industrialização acelerada exacerbou ainda mais a contínua exaustão dos recursos naturais devido à rápida disposição dos bens de consumo após seu uso. O crescimento econômico desenfreado tem entrado em conflito direto com a necessidade urgente de adotar princípios ecológicos que garantam benefícios a longo prazo para todas as formas de vida no planeta. Assim, torna-se imperativo incorporar a dimensão ambiental como elemento central no processo de planejamento, gestão e tomada de decisões no âmbito econômico (Gonçalves *et al.*, 2019). O consumo desenfreado de recursos naturais, adotado sem critérios, impõe impactos devastadores sobre o ecossistema global, comprometendo o fornecimento futuro de recursos essenciais e a qualidade de vida das populações humanas.

A busca por alternativas que sejam simultaneamente sustentáveis e inovadoras assume, portanto, uma importância crucial na resposta aos desafios impostos pelo atual paradigma da economia linear. Nesse contexto, a definição precisa do conceito de sustentabilidade emerge como um elemento fundamental, promovendo uma compreensão mais profunda de como essa se relaciona intrinsecamente com a emergente economia circular (Rusch; Schöggel; Baumgartner, 2023).

As crescentes apreensões relacionadas à sustentabilidade encontram justificativa nos efeitos prejudiciais que o sistema linear atual provoca, incluindo a depleção da camada de ozônio, as alterações climáticas, a perda de biodiversidade e as perturbações no ciclo de nitrogênio (Geissdoerfer *et al.*, 2017). Cabe destacar que organizações e instituições têm demonstrado crescente sensibilidade em relação aos riscos associados a esse modelo linear, especialmente no que tange à volatilidade dos preços dos recursos naturais e às perturbações no fornecimento desses recursos.

É importante mencionar que, com a urbanização em ascensão e o crescimento populacional projetado até 2030, a pressão sobre os recursos naturais continuará a se intensificar, a menos que ações significativas sejam tomadas para reverter essa tendência (Ellen Macarthur Foundation, 2014). A gestão de resíduos sólidos enfrenta, portanto, desafios cada vez mais complexos, à medida que o modelo linear de produção e consumo acelera o ritmo de descarte de materiais.

Nesse cenário, a Ecologia Industrial se destaca como uma abordagem alternativa, inspirada pelos sistemas naturais que demonstram uma eficiência notável na reciclagem de materiais e energia. Essa perspectiva enfatiza a importância da reciclagem de resíduos e subprodutos, da minimização do uso de recursos naturais e da adoção de tecnologias ambientalmente mais limpas (Ayres; Ayres, 2002; Bortoli *et al.*, 2023; Wiprächtiger *et al.*, 2023).

Apesar disso, é inegável que o modelo linear de economia, que se caracteriza pela produção, consumo e descarte de produtos, ainda prevalece em muitos aspectos, sem considerar devidamente as etapas posteriores ao descarte. Essa abordagem, embora tenha impulsionado o crescimento econômico por décadas, tem se tornado insustentável. O crescente reconhecimento da necessidade de redefinir a atuação desse modelo reflete as crescentes apreensões quanto à sustentabilidade e aos impactos negativos que esse sistema gera para o meio ambiente e a sociedade. A economia linear gera uma pressão significativa sobre os recursos naturais, uma vez que a extração de matérias-primas é contínua e frequentemente não renovável. É imperativo reconhecer que o modelo linear de produção, baseado na extração, fabricação e descarte, não é mais viável em um contexto global onde os recursos são finitos (Világi; Urban; Ridzoň, 2023; Hermans; Feltkamp, 2023).

Em contraposição, a economia circular surge como uma alternativa que promete ser substancialmente mais sustentável. Essa abordagem concentra-se na reutilização de produtos e componentes, bem como na utilização de materiais remanufaturados e na adoção de fontes de energia renovável. O potencial dessa abordagem para promover a sustentabilidade e reduzir o desperdício é significativo e tem sido respaldado por pesquisas (Thevenon; Vollmer, 2023; Ilyas; Srivastava; Kim, 2023; Zhang *et al.*, 2023).

É importante ressaltar que, apesar das metas ambiciosas em relação à reciclagem e reutilização, medidas mais profundas e transformadoras são necessárias para efetivamente realizar a transição da economia linear para a circular. Essa transição é vital para enfrentar os desafios globais relacionados à pressão sobre os recursos naturais e assegurar um crescimento econômico que seja sustentável a longo prazo (Yang *et al.*, 2023).

Portanto, a transição da economia linear para a circular representa uma necessidade premente, dada a urgência dos desafios ambientais e econômicos que o século XXI apresenta. A consecução dessa transição exigirá um esforço colaborativo entre governos, empresas e sociedade civil, com o objetivo de promover práticas mais sustentáveis e, assim, reduzir o impacto negativo sobre o meio ambiente e a qualidade de vida das gerações futuras.

2.2 Economia Circular: Uma Abordagem Transformadora para a Sustentabilidade

A gestão dos recursos materiais e energéticos na produção industrial representa um desafio crucial nos tempos modernos, onde a conscientização sobre a finitude desses recursos e os impactos nefastos decorrentes do modelo linear de negócios se fazem cada vez mais evidentes. Este modelo linear tem contribuído para a escalada de preços e a volatilidade das commodities e insumos, resultando em incertezas econômicas significativas. É dentro desse contexto que a economia circular emerge como um modelo econômico visionário e transformador, buscando uma abordagem substancialmente mais sustentável na utilização de matérias-primas e energia (Ellen Macarthur Foundation, 2015; Leitão, 2015).

Para compreender adequadamente os princípios e implicações da economia circular, é fundamental analisar sua estrutura de funcionamento. A economia circular

fundamenta-se na premissa de que os recursos podem ser regenerados em dois ciclos distintos: o biológico, que ocorre de forma natural, com ou sem intervenção humana, e o técnico, que demanda intervenção ativa da humanidade e o uso de energia para a regeneração (Ellen Macarthur Foundation, 2017). Os princípios basilares desse modelo visionário englobam a preservação e ampliação do capital natural, a promoção da circulação ininterrupta de produtos e materiais, bem como a busca incessante pela eficácia do sistema, eliminando quaisquer externalidades negativas que impactem o meio ambiente e a sociedade (Ellen Macarthur Foundation, 2017).

Um dos pilares centrais da economia circular consiste em otimizar o uso de materiais, prolongando a vida útil de produtos e ativos. Essa estratégia visa reduzir drasticamente a dependência de recursos não renováveis e estimular a utilização de recursos renováveis e insumos de base biológica. Para atingir esse objetivo, a economia circular enfatiza a reutilização de resíduos e subprodutos, tanto dentro da mesma cadeia produtiva quanto em outros setores industriais (Yang *et al.*, 2023). Assim, torna-se evidente que a economia circular vai muito além da gestão de resíduos e reciclagem; ela abarca a missão de maximizar a eficiência na circulação de produtos, componentes e materiais, englobando ciclos técnicos e/ou biológicos interconectados (Ding; Wang; Chan, 2023).

Uma das mudanças cruciais que a economia circular traz consigo diz respeito à transformação das relações empresariais e ao redirecionamento do foco das empresas. Essa abordagem estimula a colaboração entre empresas de diferentes setores, onde os consumidores desempenham um papel central. Nesse contexto, os fabricantes não são mais apenas produtores, mas também se tornam consumidores por meio de contratos e serviços que priorizam o desempenho, a reparação, a manutenção e a reutilização de produtos (Rusch; Schöggel; Baumgartner, 2023).

Adicionalmente, a economia circular valoriza a criação de produtos de alta qualidade, que são projetados de maneira que suas partes possam ser reutilizadas com alto valor agregado. Sob esse modelo, as empresas compartilham despesas e receitas de forma justa, colaborando para manter e até mesmo aumentar o valor dos produtos ao longo de sua vida útil. Isso resulta em maior competitividade, relações comerciais de longo prazo, redução da dependência de matérias-primas escassas e

dispendiosas, maior resiliência diante de adversidades futuras e uma imagem positiva perante a sociedade (Piscicelli, 2023).

É crucial ressaltar que a economia circular não se contrapõe ao crescimento econômico, mas sim busca desvincular o desenvolvimento econômico do consumo insustentável de recursos finitos. Este modelo está intrinsecamente ligado ao crescimento econômico, à criação de empregos e à redução dos impactos ambientais (Ellen Macarthur Foundation,, 2015).

A transição para uma economia circular demanda uma transformação sistêmica que afeta todos os envolvidos na cadeia de valor. Além disso, requer inovações substanciais em tecnologia, organização e sociedade como um todo. A transição para a economia circular representa uma mudança de paradigma que visa maximizar o uso de recursos naturais, minimizar a produção de resíduos e promover a eficiência econômica (Ellen Macarthur Foundation,, 2013).

O conceito de economia circular tem raízes profundas na história econômica e filosofia de pensadores clássicos que defendiam a ideia de aproveitar o excedente econômico em vez de consumi-lo em luxos efêmeros. No contexto atual, a economia circular envolve a otimização do excedente físico gerado pelo processo produtivo e consumo, eliminando a noção de "resíduo". Isso representa uma abordagem do "berço ao berço" (*Cradle-to-Cradle*, C2C), que busca manter materiais sintéticos ou minerais em circuitos fechados, enquanto permite que materiais biodegradáveis se transformem em nutrientes biológicos que retornam de forma benéfica ao ambiente (Thevenon; Vollmer, 2023; Ilyas, Srivastava; Kim, 2023; Zhang *et al.*, 2023).

A economia circular se revela uma fonte inestimável de oportunidades para inovações, design e desenvolvimento de produtos, processos e modelos de negócios. Ela possui o potencial de impulsionar o crescimento econômico de maneira inteligente e sustentável, proporcionando impactos positivos não apenas na economia, mas também na ecologia e na sociedade em geral (Ellen Macarthur Foundation, 2015).

A economia circular, portanto, emerge como uma abordagem transformadora que visa otimizar o uso de recursos materiais e energéticos, prolongar a vida útil de produtos, promover a reutilização de resíduos e subprodutos e desacoplar o crescimento econômico do consumo de recursos finitos. Além de oferecer oportunidades empresariais e de inovação, ela constitui um caminho viável em

direção ao crescimento econômico sustentável, contribuindo para a preservação do meio ambiente e a melhoria da qualidade de vida.

2.3 Barreiras e Desafios da Economia Circular: Uma Análise Abrangente

2.3.1 Barreiras Culturais:

As barreiras culturais representam um dos desafios mais substanciais e complexos na transição para a economia circular. Uma das barreiras mais significativas à adoção da economia circular é a mentalidade arraigada tanto dos consumidores quanto das organizações. A sociedade, em grande parte, se baseia em um padrão de consumo linear, caracterizado por produtos de vida curta e descartáveis. Essa mentalidade, como ressaltado por Gedam *et al.* (2021), está profundamente enraizada no desejo de posse e bem-estar individual, frequentemente negligenciando as implicações para o bem-estar coletivo e o impacto ambiental. A cultura do "descartar e substituir" é um obstáculo evidente para a transição para a economia circular, pois muitos consumidores continuam buscando constantemente produtos novos ao invés de valorizar a durabilidade e a reutilização.

A obsolescência programada é um conceito que reflete a prática de projetar produtos com uma vida útil limitada, com o objetivo de incentivar a substituição frequente. Essa abordagem se encaixa na mentalidade linear da economia, na qual a produção, o consumo e o descarte são processos independentes e sequenciais. A busca constante por novos produtos e a associação entre a posse de itens mais recentes e o status social são obstáculos evidentes para a transição para uma economia circular e sustentável. Superar essa mentalidade arraigada exige uma mudança não apenas na conscientização dos consumidores, mas também uma reavaliação profunda dos valores culturais e sociais que historicamente influenciaram esses comportamentos. Para fomentar a economia circular, é necessário promover a durabilidade, a reutilização, a reciclagem e a minimização do desperdício como valores fundamentais, em contraposição à obsolescência programada. Essa mudança de paradigma beneficia não apenas o meio ambiente, mas também a sociedade como um todo, ao reduzir o desperdício de recursos e promover uma abordagem mais equilibrada e sustentável em relação ao consumo. O consumismo exacerbado ainda prevalece em muitas sociedades, e a disposição

de pagar mais por produtos circulares de qualidade muitas vezes é limitada a públicos restritos, com maior poder aquisitivo (London, 1932; Hartl; Kort; Wrzaczek, 2023; Ataíde; Barroso Rodrigues, 2023).

Para superar as barreiras culturais, é necessário um esforço conjunto que envolva educação, conscientização e mudança de atitudes. As campanhas de sensibilização podem desempenhar um papel fundamental na alteração das percepções dos consumidores e na promoção da ideia de que a posse de produtos duráveis e a reutilização são mais valiosas do que a mera aquisição de itens novos. Além disso, é importante envolver as gerações mais jovens desde cedo, ensinando-lhes os princípios da economia circular e incentivando uma mentalidade mais sustentável (Piscicelli, 2023).

As organizações desempenham um papel de suma importância na superação das barreiras culturais, ao adotar práticas empresariais que colocam a sustentabilidade e a reutilização no centro de suas estratégias. O termo sustentabilidade, no conceito de Triple Bottom Line (TBL), surgiu no contexto organizacional na década de 1990 (Elkington, 1997), introduzindo no processo de tomada de decisão das empresas, além da dimensão econômica, as dimensões ambiental e social (Kneipp;, Gomes; Bichueti; Maccari, 2012; Froehlich; Bitencourt, 2016).

Isso abrange a reconfiguração de produtos para uma maior durabilidade, a promoção ativa de programas de reciclagem e reutilização, e a concepção de estratégias de marketing que enfatizam o valor intrínseco dos produtos circulares. Ao priorizar esses princípios, as empresas contribuem significativamente para a transição em direção a uma economia mais sustentável e consciente, que visa minimizar o impacto ambiental e promover a prosperidade a longo prazo .

As barreiras culturais à economia circular são profundamente arraigadas e desafiadoras de superar, mas representam um aspecto crucial da transição para um modelo econômico mais sustentável e ambientalmente consciente. A mudança cultural requer esforços contínuos de educação, conscientização e ação tanto por parte dos consumidores quanto das organizações.

2.3.2 Barreiras Financeiras/Econômicas:

As barreiras financeiras e econômicas desempenham um papel substancial e desafiador na jornada em direção à economia circular. A transição para esse modelo frequentemente envolve custos iniciais mais elevados, o que pode ser um obstáculo significativo para empresas e organizações. Os produtos circulares podem ser até duas a três vezes mais caros do que seus equivalentes lineares. Isso se deve, em grande parte, aos investimentos necessários em novos processos e materiais que são essenciais para criar produtos com menor impacto ambiental e maior durabilidade. A disparidade de custos entre produtos circulares e lineares dificulta a competitividade dos produtos circulares no mercado. Consumidores muitas vezes optam por produtos mais baratos em detrimento de escolher opções circulares, que são percebidas como mais dispendiosas. Para superar essa barreira, é fundamental encontrar maneiras de reduzir os custos iniciais da produção circular e tornar esses produtos mais acessíveis ao público em geral (Murray; Skene; Haynes; 2015; Fontenele, 2023; Sousa Martins, Leitão; Guarnieri, 2023; CUNHA, 2023).

Além disso, Gedam *et al.* (2021) destacam a falta de financiamento adequado como um desafio significativo para a transição para a economia circular. Os chamados "fundos pacientes", que visam melhorar a produtividade e a sustentabilidade a longo prazo em vez de gerar lucros imediatos, são essenciais para apoiar projetos circulares. No entanto, esses fundos muitas vezes são escassos e enfrentam desafios para atrair investidores. A natureza de longo prazo dos investimentos em economia circular pode torná-los menos atraentes para aqueles que buscam retornos financeiros rápidos.

O alto custo das tecnologias e processos da economia circular cria barreiras financeiras. Investimentos iniciais em sistemas de reciclagem, equipamentos de remanufatura e logística reversa são onerosos, mas podem gerar economias a longo prazo e benefícios ambientais. Para superar essas barreiras, políticas de apoio, educação dos consumidores e investimentos são essenciais (Cunha, 2023).

As barreiras financeiras e econômicas representam um desafio significativo na transição para a economia circular, mas também oferecem oportunidades para repensar os modelos de negócios e investimentos a longo prazo em prol da sustentabilidade ambiental e econômica.

2.3.3 Barreiras Tecnológicas:

As barreiras tecnológicas desempenham um papel substancial na jornada em direção à economia circular, embora não sejam o obstáculo principal. A falta de tecnologias apropriadas para a reciclagem, remanufatura e reutilização de materiais ainda representa um desafio significativo para a concretização dessa visão. A aplicação eficaz da tecnologia é fundamental, mas é igualmente crucial entender como e quando aplicá-la de maneira adequada.

A complexidade das operações de reciclagem, remanufatura e reutilização exige soluções tecnológicas avançadas que possam lidar com uma variedade de materiais e processos. A pesquisa de Kirchherr *et al.* (2018) destaca a importância de abordar essa complexidade, enfocando não apenas as tecnologias disponíveis, mas também as estratégias de implementação. Isso envolve considerar aspectos como a coleta eficaz de resíduos, a triagem precisa de materiais, os métodos de processamento adequados e a gestão da qualidade ao longo de toda a cadeia de valor.

A inovação tecnológica desempenha um papel crítico na superação dessas barreiras. À medida que a economia circular se desenvolve, é essencial que as empresas invistam em pesquisa e desenvolvimento para aprimorar as tecnologias existentes e desenvolver novas abordagens. Isso inclui a criação de processos mais eficientes de reciclagem e remanufatura, bem como a incorporação de técnicas avançadas de rastreamento e monitoramento para garantir a qualidade e a rastreabilidade dos materiais circulares (Neligan *et al.*, 2023).

Além disso, a inovação tecnológica desempenha um papel crucial no cumprimento de padrões ambientais rigorosos. À medida que as preocupações com o meio ambiente aumentam, as regulamentações ambientais podem se tornar mais rigorosas. Portanto, as empresas que adotam tecnologias mais limpas e eficientes estão mais bem posicionadas para cumprir esses padrões e evitar potenciais sanções e penalidades (Horcea-Milcu *et al.*, 2023).

Um exemplo notável de inovação tecnológica na economia circular é a ascensão da Internet das Coisas (IoT) e da tecnologia de blockchain para rastrear e autenticar produtos e materiais ao longo de toda a cadeia de suprimentos. Essas tecnologias permitem uma maior transparência e rastreabilidade, o que é essencial

para a gestão eficaz de recursos e a garantia da qualidade dos produtos circulares (Bakker *et al.*, 2014).

Embora as barreiras tecnológicas não sejam a principal barreira na transição para a economia circular, elas desempenham um papel significativo e exigem atenção contínua e investimento em pesquisa e inovação para serem superadas.

2.3.4 Barreiras Legislativas/Regulatórias:

As barreiras legislativas e regulatórias desempenham um papel essencial e multifacetado na transição para uma economia circular verdadeiramente sustentável. A ausência de regulamentações adequadas e políticas favoráveis pode representar um entrave significativo à implementação de práticas que promovam a sustentabilidade ambiental e econômica. A participação ativa dos governos e órgãos reguladores é crucial para criar um ambiente propício à economia circular, proporcionando uma estrutura legal que incentive e facilite a transição (Cunha, 2023).

A elaboração de políticas específicas voltadas para a economia circular é fundamental para superar as barreiras regulatórias. Essas políticas podem abranger uma série de medidas, desde a tributação de produtos prejudiciais ao meio ambiente até a redução da tributação sobre materiais reciclados (Ritzén; Sandström, 2017). A tributação ambiental, por exemplo, pode desencorajar a produção e o consumo de produtos não sustentáveis, ao passo que a redução de impostos sobre materiais reciclados pode tornar esses materiais mais competitivos em comparação com os recursos virgens, incentivando a reciclagem e a reutilização.

Além disso, a criação de normas e regulamentos que promovam a rastreabilidade e a transparência na gestão de resíduos e na cadeia de suprimentos é crucial para garantir a conformidade com práticas circulares. Isso pode incluir requisitos rigorosos para a coleta, triagem e tratamento de resíduos, bem como a divulgação de informações sobre a proveniência e o destino final dos materiais (Frosch; Gallopoulos, 1989).

A harmonização das regulamentações em níveis regional, nacional e internacional também é um desafio importante. A falta de coordenação entre jurisdições pode criar obstáculos significativos para as empresas que buscam operar em conformidade com os princípios da economia circular. Portanto, é essencial que

os governos trabalhem em conjunto para estabelecer padrões comuns e garantir a coerência das políticas.

Embora as barreiras legislativas e regulatórias sejam muitas vezes vistas como obstáculos, também podem desempenhar um papel positivo ao estabelecer um quadro claro e previsível para as atividades relacionadas à economia circular. Essas regulamentações podem fornecer orientações claras sobre responsabilidades e padrões de desempenho, criando assim um ambiente propício para o investimento em inovação e tecnologias circulares (Ellen Macarthur Foundation,, 2013).

As barreiras legislativas e regulatórias são um aspecto crítico da transição para a economia circular. As políticas adequadas e a coordenação entre governos são essenciais para superar essas barreiras e criar um ambiente regulatório que promova ativamente a sustentabilidade e a eficiência na gestão de recursos.

2.3.5 Barreiras de Cadeia de Suprimentos:

As barreiras relacionadas à gestão das cadeias de suprimentos desempenham um papel crucial na transição para a economia circular e estão intrinsecamente ligadas a diversos desafios. Como destacado por Govindan e Hasanagic (2018), a falta de otimização na cadeia de suprimentos surge como uma barreira substancial. Isso significa que, em muitos casos, as cadeias de abastecimento não estão devidamente configuradas para acomodar práticas circulares, resultando em ineficiências operacionais e desperdício de recursos valiosos.

Para superar esse obstáculo, é imperativo projetar sistemas de alimentação em circuito fechado que sejam adequadamente otimizados para maximizar o fluxo de materiais reciclados e remanufaturados (Tura *et al.*, 2019). Isso envolve uma reconfiguração profunda das operações logísticas, com foco na coleta, triagem e redistribuição eficaz de recursos descartados. Além disso, a implementação de tecnologias avançadas, como sistemas de rastreamento e gerenciamento de dados em tempo real, pode facilitar a rastreabilidade e a eficiência em toda a cadeia de suprimentos (Kirchherr *et al.*, 2018).

A colaboração entre empresas ao longo da cadeia de produção também se destaca como um elemento crítico. Essa cooperação não apenas permite o compartilhamento de melhores práticas, mas também a criação de sinergias que

impulsionam a eficiência da economia circular (Gedam *et al.*, 2021). Parcerias estratégicas e redes de fornecedores podem promover a troca de recursos residuais entre organizações, reduzindo assim a necessidade de matéria-prima virgem.

Além disso, a adoção de modelos de negócios circulares, como o leasing de produtos, pode simplificar a gestão das cadeias de suprimentos ao manter a propriedade dos produtos nas mãos dos fabricantes. Isso pode facilitar a coleta e o acondicionamento de produtos no final de suas vidas úteis (Ritzén; Sandström, 2017).

A otimização das cadeias de suprimentos, a implementação de tecnologias avançadas, a promoção da colaboração entre empresas e a adoção de modelos de negócios circulares são abordagens que podem ajudar a superar as barreiras associadas à gestão das cadeias de suprimentos na economia circular. No entanto, é essencial que essas ações sejam coordenadas e integradas em toda a cadeia de valor para garantir uma transição eficaz para um modelo mais sustentável.

2.3.5 Soluções e Perspectivas:

Para enfrentar as complexas barreiras da economia circular, uma abordagem abrangente e colaborativa se faz necessária. Governos, empresas e consumidores devem se envolver ativamente no processo de transição. O papel dos governos é fundamental na criação de políticas e regulamentações que incentivem a economia circular, como a tributação ambiental e sistemas de responsabilidade ampliada do produtor (Murray; Skene; Haynes, 2015; Fontenele, 2023; Sousa Martins, Leitão; Guarnieri, 2023; Cunha, 2023). Essas medidas podem não apenas impulsionar a adoção de práticas sustentáveis, mas também nivelar o campo de jogo financeiro.

As empresas, por sua vez, devem adotar uma postura proativa na reestruturação de seus modelos de negócios, investindo em pesquisa e desenvolvimento de produtos circulares e colaborando em cadeias de suprimentos eficientes (Govindan; Hasanagic, 2018; Kirchherr *et al.*, 2018). A inovação tecnológica desempenha um papel crucial, permitindo a reciclagem mais eficiente e o desenvolvimento de materiais facilmente recicláveis.

Os consumidores desempenham um papel-chave ao adotar padrões de consumo mais responsáveis e exigir produtos circulares (Gedam *et al.*, 2021). A

educação sobre os benefícios da economia circular e a conscientização sobre os impactos ambientais são essenciais para promover uma mudança cultural.

As soluções e perspectivas para superar as barreiras da economia circular envolvem a cooperação de todos os stakeholders, visando a criação de políticas, a inovação tecnológica, a reestruturação dos modelos de negócios e a conscientização do consumidor. A economia circular não apenas enfrenta os desafios, mas também oferece oportunidades de negócios e um caminho para um futuro mais sustentável.

3 METODOLOGIA

Nesta pesquisa de natureza qualitativa, adotamos a técnica de análise temática, seguindo as diretrizes propostas por Yin (2016) para a análise de dados. O objeto de estudo é uma empresa especializada em reciclagem de Resíduos Eletroeletrônicos situada em Sorocaba. A pesquisa abrangeu revisão de literatura entrevistas realizadas com o responsável técnico e o gerente industrial durante os meses de junho e agosto de 2023, com questionário inicial composto por 10 questões entre abertas e fechadas e alguns pontos foram sanados ao longo do período de entrevistas. Tanto as entrevistas com o responsável técnico quanto com o gerente industrial foram conduzidas por meio de meios eletrônicos, bem como por meio de visita presencial à empresa (Lakatos; Marconi, 2021).

A escolha da abordagem de estudo de caso se justifica pela necessidade de realizar uma análise minuciosa das questões de pesquisa, que buscam compreender o "como" e o "porquê" dos eventos em questão. Além disso, os estudos de caso demonstram uma notável capacidade de examinar situações complexas e da vida real, nas quais as fronteiras entre o fenômeno de interesse e seu contexto circundante frequentemente se interpenetram. A decisão de conduzir um único estudo de caso está em consonância com a abordagem proposta e visa aprofundar a análise teórica e técnica, sem comprometer a qualidade dos resultados (Yin, 2014).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A empresa ABC, localizada em Sorocaba, São Paulo, desempenha um papel importante na promoção da economia circular na indústria eletroeletrônica brasileira. Fundada em 2012, ela representa um ecossistema inovador focado em soluções sustentáveis para o mercado de eletroeletrônicos. Esse ecossistema baseia-se na economia circular, abrangendo aspectos como logística reversa, processamento de materiais e investimentos contínuos em pesquisa e desenvolvimento. O objetivo é encontrar novos usos para os componentes recebidos e garantir a qualidade do material produzido.

A economia circular é o princípio orientador das operações da empresa, que se empenha em eliminar o desperdício em toda a cadeia de valor. A logística reversa desempenha um papel fundamental, abrangendo desde o gerenciamento dos chamados até a completa descaracterização dos produtos, com emissão de laudos de destruição. Esse modelo de produção, alinhado com os princípios da economia circular, destaca-se em comparação com a produção linear convencional, reduzindo a extração de recursos, emitindo menos poluentes e economizando energia.

A visão da economia circular busca fluxos eficientes de materiais, energia, trabalho e informações para reconstruir recursos naturais e capital social, separando o desenvolvimento econômico dos recursos finitos. A empresa reconhece a importância desse enfoque, especialmente à luz da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) brasileira, que coloca responsabilidades sobre os fabricantes de eletroeletrônicos em relação ao ciclo de vida de seus produtos.

É crucial destacar os potenciais danos causados pelo descarte inadequado de Resíduos de Equipamentos Eletroeletrônicos (REEs), que podem conter metais pesados prejudiciais. Embora esses metais não representem riscos quando os produtos estão em uso, podem se tornar um problema sério se não forem tratados adequadamente após o descarte. Considerando o estabelecimento sólido da indústria de eletroeletrônicos no Brasil e o potencial de crescimento de mercado, é fundamental observar que apenas 2% dos produtos eletrônicos são descartados corretamente no país.

A empresa ABC está alinhada com a PNRS, buscando cumprir seus 15 objetivos, incluindo o desenvolvimento de tecnologias limpas e melhorias no processo de produção. Seu modelo integrado de manufatura e manufatura reversa atende a 14 dos 15 objetivos da PNRS, incluindo a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos e a logística reversa.

Além de sua abordagem à economia circular, a empresa ABC se destaca por seu compromisso com a segurança da informação, que é crucial ao lidar com equipamentos eletrônicos que podem conter dados sensíveis. A empresa adota medidas rigorosas para garantir a rastreabilidade dos produtos e implementa protocolos de segurança para eliminar qualquer possibilidade de vazamento de dados.

A ABC processa materiais, incluindo hardware, suprimentos de impressão e resíduos industriais, realizando a desmontagem manual e a separação de componentes por tipo. O plástico é triado e separado novamente por tipo e cor para preservar suas propriedades. A empresa desenvolveu máquinas em parceria com empresas estrangeiras para automatizar o processo de trituração e separação de materiais, garantindo a eficiência e qualidade do plástico reciclado.

A empresa ABC continua investindo em pesquisa e desenvolvimento, mantendo um laboratório de alto desempenho para criar tecnologias que permitem a mensuração e quantificação dos resíduos recebidos, garantindo a qualidade e conformidade dos materiais reciclados.

A empresa ABC serve como um exemplo prático de como a economia circular pode ser implementada na indústria eletroeletrônica, promovendo a sustentabilidade, minimizando resíduos e contribuindo para um futuro mais consciente do meio ambiente. Seu compromisso com a pesquisa, inovação e qualidade a posiciona como uma líder na busca por soluções sustentáveis em sua indústria.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base no estudo de caso realizado na empresa ABC, é possível afirmar que a economia circular se apresenta como uma abordagem relevante e eficaz para lidar com os desafios ambientais e sociais atuais. A empresa ABC exemplifica a aplicação prática dos princípios da economia circular em suas operações, abrangendo desde a logística reversa até a pesquisa e desenvolvimento de novas

aplicações para componentes eletrônicos, evidenciando os benefícios da adoção desse enfoque.

Um dos aspectos notáveis da empresa ABC é sua capacidade de transformar materiais que, em muitos casos, seriam considerados resíduos, em recursos valiosos. A reutilização, reciclagem e recuperação de materiais não apenas reduzem o desperdício e o impacto ambiental, mas também abrem oportunidades de negócios sustentáveis, ilustrando como a economia circular pode promover a inovação e o crescimento econômico.

No entanto, é importante reconhecer que a jornada da empresa ABC em direção à economia circular não está isenta de desafios. A gestão eficaz de resíduos e a implementação de logística reversa são tarefas complexas e dispendiosas. Além disso, a conscientização e a colaboração de todos os atores na cadeia de valor são fundamentais para o sucesso da economia circular, algo que nem sempre é de fácil alcance.

Para que a economia circular se estabeleça de forma mais ampla na indústria eletroeletrônica e globalmente, é necessário um compromisso contínuo de empresas, governos e consumidores. A regulamentação adequada, incentivos econômicos e uma mudança cultural em direção ao consumo responsável desempenham papéis cruciais nesse processo de transição.

A empresa ABC demonstra que a economia circular é uma abordagem factível e benéfica para a indústria eletroeletrônica. Seu compromisso com a sustentabilidade, inovação e responsabilidade social representa um modelo encorajador em um mundo em busca de soluções para os desafios ambientais globais. À medida que mais empresas seguem esse caminho, é possível vislumbrar um futuro mais sustentável, consciente do meio ambiente e economicamente próspero.

REFERÊNCIAS

ATAÍDE, R.; BARROSO RODRIGUES, A. Consumer Protection in the European Union Regarding Planned Obsolescence and the Right to Repair. **Centro de Investigação de Direito Privado (CIDP) Research Paper**, n. 01, 2023.

AYRES, R.U.; AYRES, L.W. **A Handbook of Industrial Ecology**. Edward Elgar Pub. Lmt., UK., 680 p., 2002.

BAKKER, C. A.; DEN HOLLANDER, M. C.; VAN HINTE, E.; ZIJLSTRA, Y. **Products that last: Product design for circular business models**. TU Delft Library, 2014.

BORTOLI, A. *et al.* Planning sustainable carbon neutrality pathways: accounting challenges experienced by organizations and solutions from industrial ecology. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, p. 1-25, 2023.

CASTRO, P.; CARVALHO, B.; ARAUJO, C. Marketing Sustentável no Varejo: Uma Revisão Sistemática da Literatura. **Revista Interdisciplinar de Marketing**, v. 13, n. 1, p. 1-18, 2023.

CUNHA, F. B. **Economia Circular**: tributação e sustentabilidade lado a lado: análise das legislações brasileira e espanhola. Editora Dialética, 2023.

DEMASTUS, J.; LANDRUM, N. E. Organizational sustainability schemes align with weak sustainability. *Business Strategy and the Environment*, 2023.

DING, L.; WANG, T.; CHAN, P. Forward and reverse logistics for circular economy in construction: A systematic literature review. **Journal of Cleaner Production**, p. 135981, 2023.

ELKINGTON, J. **Cannibals with Forks**: The Triple Bottom Line of 21st Century Business. Oxford: Capstone, 1997.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Rumo à Economia Circular**: O racional de negócio para acelerar a transição. 2015. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/pt/publicacoes>. Acesso em: 14.set. 2023.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards the circular economy Vol. 1**: an economic and business rationale for an accelerated transition.2013. Disponível em: <https://ellenmacarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an>. Acesso em: 14 set. 2023.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards the circular economy Vol. 3**: accelerating the scale-up across global supply chains.2014. Disponível em: <https://ellenmacarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-3-accelerating-the-scale-up-across-global>. Acesso em: 14 set. 2023.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **UMA ECONOMIA CIRCULAR NO BRASIL**: Uma abordagem exploratória inicial. 2017. Disponível em: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/languages/Uma-Economia-Circular-no-Brasil_Uma-Exploracao-Inicial.pdf. Acesso em: 14 set. 2023

FONTENELE, R. E. S. Economia Circular e Métodos de Avaliação Econômica de Projetos: Proposta Metodológica para Cálculo dos Impactos Diretos e Indiretos. **Revista Ciências Administrativas**, v. 29, 2023.

FROEHLICH, C.; BITENCOURT, C. C. Sustentabilidade Empresarial: Um Estudo de Caso na Empresa Artecóla. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 5, n. 3, p. 55–71, 2016.

Revista Produção Online. Florianópolis, SC, v. 23, n. 3, e-5003, 2023.

FROSCH, R. A.; GALLOPOULOS, N. E. **Strategies for manufacturing**. Scientific American, v. 261, n. 3, p. 144-152, 1989.

GEDAM, V. V. *et al.* **Moving the circular economy forward in the mining industry**: Challenges to closed-loop in an emerging economy. Resources policy, v. 74, n. 102279, p. 102279, 2021.

GEISSDOERFER, M. *et al.* **The Circular Economy – A new sustainability paradigm?** Journal of cleaner production, v. 143, p. 757–768, 2017.

GONÇALVES, T. M.; BARROSO, A. F.F. **A economia circular como alternativa à economia linear**. Anais do XI Simpósio de Engenharia de Produção de Sergipe 2019. Disponível em: <https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/12561/2/EconomiaCircularAlternativa.pdf>. Acesso em: 14 de set. de 2023.

GOVINDAN, K.; BOUZON, M. **From a literature review to a multi-perspective framework for reverse logistics barriers and drivers**. Journal of Cleaner Production, 2018.

HARTL, R. F.; KORT, P. M.; WRZACZEK, S. Reputation or warranty, what is more effective against planned obsolescence? **International Journal of Production Research**, v. 61, n. 3, p. 939-954, 2023.

HERMANS, T. B.; FELTKAMP, R. The legal concept of waste: The (Legal) Concept of Waste: An Obstacle for Exnovating Linear Economic Activities and the Transition to a Circular Economy (In the Brussels Capital Region)? **European Energy and Environmental Law Review**, v. 32, n. 3, p. 114-135, 2023.

HORCEA-MILCU, A-Ioana *et al.* Modes of mobilizing values for sustainability transformation. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 64, p. 101357, 2023.

ILYAS, S.; SRIVASTAVA, R. R.; KIM, H. Cradle-to-cradle recycling of spent NMC batteries with emphasis on novel Co²⁺/Ni²⁺ separation from HCl leached solution and synthesis of new ternary precursor. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 170, p. 584-595, 2023.

KELLY, M. MOKYR, J.; Ó GRÁDA, C. The mechanics of the Industrial Revolution. **Journal of Political Economy**, v. 131, n. 1, p. 59-94, 2023.

KIRCHHERR, J. *et al.* **Barriers to the circular economy**: Evidence from the European Union (EU). Ecological Economics, v. 150, p. 264–272, 2018.

KNEIPP, . M.; GOMES, . M.; BICHUETI, . S.; MACCARI, . A. Gestão para a sustentabilidade em empresas do setor mineral. **Revista de Ciências da Administração**, v. 14, n. 33, p. 52–67, 2012.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 19 fevereiro 2021.

Revista Produção Online. Florianópolis, SC, v. 23, n. 3, e-5003, 2023.

LEITÃO, A. **Economia Circular: uma nova filosofia de gestão para o séc. XXI.** Portuguese Journal of Finance, Management and Accounting, Vol. 1, N. 2, set 2015.

LONDON, B. **Ending the Depression Through Planned Obsolescence.** 1932.

MURRAY, A.; SKENE, K.; HAYNES, K. **The circular economy: an interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context.** Journal of business ethics, v.140, n. 3, p. 369–380, 2017.

NELIGAN, A. *et al.* Circular disruption: Digitalisation as a driver of circular economy business models. **Business Strategy and the Environment**, v. 32, n. 3, p. 1175-1188, 2023.

PISCICELLI, L. The sustainability impact of a digital circular economy. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 61, p. 101251, 2023.

RITZEN, S.; SANDSTROM, G. O. **Barriers to the circular economy-integration of perspectives and domains.** The 9th CIRP IPSS Conference: Circular Perspectives on Product/Service-Systems. 2017.

RUSCH, M.; SCHÖGGL, J.-P.; BAUMGARTNER, R. J. Application of digital technologies for sustainable product management in a circular economy: A review. **Business Strategy and the Environment**, v. 32, n. 3, p. 1159-1174, 2023.

SOUSA MARTINS, T.; LEITÃO, F. O.; GUARNIERI, P. Transição da economia linear para a economia circular de equipamentos eletroeletrônicos. **Revista Organizações em Contexto**, v. 19, n. 37, p. 329-361.

THEVENON, A.; VOLLMER, I. Towards a Cradle-to-Cradle Polyolefin Lifecycle. **Angewandte Chemie**, v. 135, n. 3, p. e202216163, 2023.

TURA, N.; HANSKI, J.; AHOLA, T.; STÄHLE, M.; PIIPARINEN, S.; VALKOKARI, P. **Unlocking circular business: A framework of barriers and drivers.** Journal of leaner Production, v. 212, p. 90–98, 2019.

VILÁGI, F.; URBAN, F.; RIDZONĚ, F. Evaluation of Linear Economic Characteristics of Machines for Optimal Operation of Heat Sources. **Eng. Proc**, v. 52, 2023.

WIPRÄCHTIGER, M. *et al.* Combining industrial ecology tools to assess potential greenhouse gas reductions of a circular economy: Method development and application to Switzerland. **Journal of Industrial Ecology**, v. 27, n. 1, p. 254-271, 2023.

YANG, M. *et al.* Circular economy strategies for combating climate change and other environmental issues. **Environmental Chemistry Letters**, v. 21, n. 1, p. 55-80, 2023.

YIN, R. K. **Estudo De Caso - Planejamento e Métodos.** 5. ed. Porto Alegre Bookman, 2014.

YIN, R. K. **Pesquisa Qualitativa do Início ao Fim**. 1. ed. Porto Alegre: Penso, 2016.

ZHANG, X. *et al.* Assessing the Feasibility of Practical Cradle to Cradle in Sustainable Conceptual Product Design. **Sustainability**, v. 15, n. 8, p. 6755, 2023.

AUTOR

Fernando Rodrigo de Souza

Engenheiro de Produção formado pelo Centro Universitário Nossa Senhora do Patrocínio, Tecnólogo em: Polímeros, Logística e Gestão da Qualidade, obtidas na Fatec-Sorocaba e Gestão Empresarial obtida na Fatec-Itu. Especialização em Engenharia da Qualidade Integrada e Especialização em Lean Manufacturing pela Anhanguera-Sorocaba. MBA em Lean Seis Sigma e Excelência Operacional, MBA em Gestão da Qualidade e Processos e MBA em Gestão Industrial pela FM2S em parceria UMJ - Centro Universitário Mario Pontes Jucá. Master Black Belt, Auditor Líder 9001:2015. Experiência profissional na área de Qualidade Assegurada na Edscha Brasil, Schaeffler Brasil e Saturnia Hawker. Pesquisa nas áreas de reciclagem de materiais, logística reversa, sustentabilidade, economia circular e na interação entre o processo de fabricação, consumo e descarte, especialmente no contexto do pós-consumo.



Artigo recebido em: 10/01/2024 e aceito para publicação em: 14/09/2023

DOI: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v23i1.4866>