

Problemas, desafios e soluções da implantação de tecnologias em redes de reciclagem

ANA PAULA FREITAS DE LIMA
UNIVERSIDADE PAULISTA (UNIP)

ERNESTO MICHELANGELO GIGLIO
UNIVERSIDADE PAULISTA (UNIP)

Agradecimento à orgão de fomento:

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

PROBLEMAS, DESAFIOS E SOLUÇÕES DA IMPLANTAÇÃO DE TECNOLOGIAS EM REDES DE RECICLAGEM

INTRODUÇÃO

O tema sustentabilidade é cada vez mais relevante nas últimas décadas, em função dos indicadores de degradação do ambiente, na terra, na água e no ar (Mariano & Ferrarezi Junior, 2022). Em todo planeta surgem programas globais, como a Década do Oceano, e programas locais de preservação e recuperação de áreas, bem como de reuso e reciclagem de materiais (Guillot, 2021). Na esteira dos programas surgem modelos de negócios e de políticas públicas, como a economia circular, que buscam modificar o sistema de produção linear (Hennemann & Sehnem, 2022). A adoção de um modelo de economia circular, no entanto, é um desafio porque os sinais indicam que boa parte dos empresários não está preparada e nem disposta a modificar seu padrão de trabalho (Guillot, 2021; Hennemann & Sehnem, 2022).

No caso da reciclagem, que é um dos pontos da economia circular, o desafio é o desinteresse no uso de tecnologia (Hennemann & Sehnem, 2022), já que a produção acadêmica e as decisões de empresários fabricantes focam na ponta da produção e não na ponta do retorno (Kurniawan et al., 2022; Othman et al., 2020). Existem, no entanto, tecnologias, tais como sistemas de integração de processos (Jabbour et al., 2018), que poderiam auxiliar a cadeia de reciclagem, desde o descarte até a comercialização final do material separado (Lasi et al., 2014). Por que essas tecnologias não são utilizadas na reciclagem? Quais os problemas, desafios e soluções? As baixas taxas de reciclagem no mundo (46%) e na América Latina (13%) (Forti et al., 2020) evidenciam que há um problema para ser resolvido.

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), editado em 2010 no Brasil, oferece um conjunto articulado de normas para a operação da cadeia de reciclagem (Saueressig et al., 2021), mas itens importantes, como a obrigação da indústria, de acompanhar o descarte de seus produtos e facilitar o retorno para reuso e reciclagem, praticamente não saíram do papel.

Artigos de revisões bibliográficas sobre tecnologias aplicadas à reciclagem mostram que o assunto é pouco investigado e com raras aplicações, quando se compara com esforços de tecnologias na ponta da produção (Chauhan et al., 2022; De Almeida & Borsato, 2019). Com esse conjunto de evidências criou-se o objetivo do artigo, que é oferecer uma resposta sobre os problemas, desafios e soluções da implantação e uso de tecnologias aplicadas à reciclagem.

As evidências iniciais permitem apresentar a proposição que os problemas e desafios se encontram no lado humano, isto é, nas decisões, resistências e interesses de atores em adotar a economia circular e implantar tecnologias na rede de reciclagem. Existem tecnologias testadas e aprovadas em laboratório, sem implantação em escala.

Como a operação de reciclagem é uma tarefa complexa, no sentido de especialidades requeridas, com necessidade de trabalho coletivo, utilizamos os fundamentos teóricos da abordagem de redes.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Realizou-se revisão bibliográfica para organizar as afirmativas e a contribuição da academia para os problemas e soluções da tecnologia na reciclagem. Um primeiro ponto relevante é a importância de se encontrar soluções para o plástico, o maior poluidor da terra e da água (Mukhamadeyeva et al., 2018). São raros os artigos que tratam de tecnologias de coleta, triagem e separação de plástico.

Outro ponto da revisão confirma as análises iniciais de que existem problemas de compromisso e capacitação dos empresários, ao lado de desinteresse e desconhecimento dos consumidores sobre o correto descarte (Cui et al., 2022). Esses problemas dificultam a implantação de tecnologias, embora elas existam e tenham sido testadas, por exemplo, no rastreamento de embalagens plásticas (Gasde et al., 2021; Khadke et al., 2021). Entre os

desafios encontrados, um dos mais importantes é sobre a adoção da economia circular por parte dos empresários e a educação ambiental da população (Hennemann & Sehnem, 2022).

Chamou a atenção o fato de as tecnologias de reciclagem estarem centralizadas em países desenvolvidos, o que pode estar relacionado à existência de recursos financeiros para essas pesquisas e uma visão e atitudes ambientais mais desenvolvidas, conforme sugere a porcentagem comparada de reciclagem em países europeus e latino-americanos (Kurniawan et al., 2022).

O Quadro 1 resume os problemas, desafios e soluções encontradas na revisão bibliográfica. Os problemas referem-se às causas da situação, por exemplo, no descompromisso dos empresários. Os desafios referem-se aos planos e sugestões de mudanças, mas sem os detalhes operacionais. As soluções são os caminhos, testados, ou não, sobre implantação e resultados de tecnologias. As linhas são independentes entre si, ou seja, não há associação das variáveis nas linhas.

Quadro 1 - Resumo dos problemas, desafios e soluções de tecnologia aplicada à reciclagem

Problemas	Desafios	Soluções
Empresários não se interessam pela tarefa	Fazer acordos na cadeia	Programas de educação dos consumidores sobre o descarte
Consumidores não tem consciência ambiental	Empresários precisam se preparar para a economia circular	Foco de tecnologias na coleta e tratamento
Governo não consegue fiscalizar	Tecnologias de automação e triagem de plásticos são viáveis	Foco na tecnologia de reciclagem do plástico
Volume de descarte é maior que o volume de reciclagem	Políticas públicas de reciclagem que sejam operacionais, viáveis	Uso de identificação digital no plástico
Foco na produção, relegando a reciclagem	Integrar reciclagem com matrizes energéticas e princípios de sustentabilidade	Capacitação dos empresários sobre economia circular
Reciclagem é de baixa escala e a produção de alta escala	Mudar o sistema de produção para a economia circular	Utilizar técnicas de produção com material biodegradável
Tecnologias são direcionadas para produção e raramente para reciclagem	Modificar o ambiente organizacional, para estratégias com foco em sustentabilidade	Criar inovações na cadeia produtiva, utilizando materiais reciclados
Sistema ineficiente de coleta		Tecnologia digital para o descarte correto, pelos consumidores

Fonte: Os autores

A conclusão da revisão é que os problemas, desafios e soluções referem-se aos atores empresários, agentes do governo e população. Uma afirmativa recorrente na revisão é que precisa modificar o sistema de produção e consumo para o modelo de economia circular. A partir dessa conclusão, selecionamos os argumentos teóricos da abordagem social de redes, economia circular e adoção de tecnologias, para aprofundar a análise.

Na Abordagem social de redes, uma rede pode ser compreendida por um conjunto de atores que desempenham tarefas, com objetivos comuns (Meyer Montenegro et al., 2014). A ideia básica sobre o formato de redes é que existem tarefas com um grau de complexidade e especialidade que torna muito difícil uma única empresa ter todos os conhecimentos e habilidades (Hærem et al., 2014). Dessa forma, há necessidade de compartilhamento, criando a interdependência entre os atores da tarefa, e a necessidade de uma governança, um conjunto de mecanismos que regule as ações coletivas.

A complexidade de tarefa na reciclagem aparece nas especialidades necessárias, tais como conhecimento e domínio de logística, composição de produtos, segurança no manejo de produtos, conhecimento sobre composição de embalagens, conhecimento do mercado de reciclável. As organizações envolvidas, incluindo o governo, precisam compartilhar informações e utilizar seus conhecimentos específicos dentro de um plano integrado de ação. Para que ocorra a ação coletiva na cadeia da reciclagem, desde o descarte até a comercialização do material, é necessário criar uma governança que oriente e regule as ações.

A abordagem social de redes afirma que todas as ações e transações ocorrem a partir da matriz de relacionamento dos atores, isto é, predominam as relações de cooperação, confiança e comprometimento (Nohria et al., 1992; Uzzi, 1997). Essa matriz orientada para uma visão e estratégia coletiva é o caminho para a passagem do modelo linear de produção, baseado na competição isolada, para o modelo de economia circular.

Economia circular refere-se a um sistema que busca otimizar o reuso de produtos e materiais, gerando o efeito de sustentabilidade do planeta. A questão não é apenas técnica no sentido de qual matéria prima utilizar e como recolocá-la no mercado. Significa uma gestão que substitui o modelo de economia linear, baseado na produção e venda, para um sistema de economia circular, que valoriza a sustentabilidade e o reaproveitamento de material (Franzò et al., 2021). A reciclagem é um dos braços da Economia Circular, consistindo no desmonte do produto original em suas matérias primas, de tal forma que esse resultado possa retornar na cadeia produtiva (Faro et al., 2013).

A reciclagem, portanto, é uma tarefa de logística e tratamento de produtos, com diferentes atores e especialidades, nos diferentes pontos da cadeia. A tecnologia pode estar em qualquer uma das etapas. Artigos acadêmicos e um painel inicial de mídias digitais indicam que há tecnologia para todas as etapas, mas são raros os exemplos de sua adoção, o que nos leva ao tema da adoção de tecnologias.

Artigos sobre adoção de tecnologia, em geral, colocam o problema da resistência dos empresários (Musyaffi et al., 2023) e a teoria de difusão da inovação traz algumas possíveis justificativas para esse fato. Segundo Rogers (1995), existem cinco fatores sobre adoção de inovação: (a) vantagem relativa é a percepção do ganho na prática da inovação; (b) complexidade é o grau de dificuldade de uso ao adotar; (c) compatibilidade é a coerência com as crenças, valores e experiência anteriores à adoção; (d) experimentação é a possibilidade de utilizar a inovação antes de sua adoção definitiva e a (e) percepção de resultados é identificar a vantagem da adoção mediante os resultados obtidos. Os fatores foram repetidos e sustentados em literatura recente (Khan et al., 2022; Kishore & Raghavendra, 2024; Silva et al., 2022; Zoubi et al., 2023).

O trio de argumentos teóricos, a abordagem social de redes, a economia circular e a adoção de tecnologias, mostra o seguinte quadro, quando aplicadas à reciclagem: Os problemas, desafios e soluções do uso de tecnologias em reciclagem podem ser investigados e explicados nas interações e decisões coletivas dos atores envolvidos na tarefa. Mesmo alguns itens que aparentam serem de natureza pessoal (desinteresse dos empresários), ou institucional (capacidade do governo em fiscalizar), podem ser colocados na perspectiva de redes. A adoção da economia circular significa redesenhar um sistema para garantir a recuperação dos recursos naturais (Hennemann & Sehnem, 2022). A teoria da adoção de tecnologia e inovação em

reciclagem utiliza princípios capazes de explicar a resistência dos empresários, acomodados num sistema de produção e venda que não lhe cobra o destino do seu produto (Guillot, 2021).

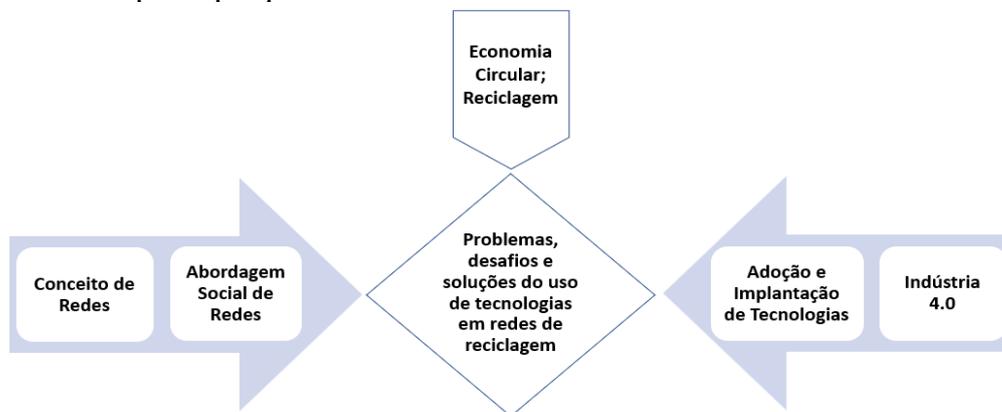
As análises dos sinais iniciais, resumidos no Quadro 1 e a aplicação da teoria ao tema da tecnologia em reciclagem, indicou o conjunto inicial de problemas, desafios e soluções do campo. A partir desse contexto foi realizada a pesquisa.

METODOLOGIA

Considerando a raridade de estudos sobre os fatores humanos na adoção de tecnologia em reciclagem, com variáveis de decisão, conhecimento e capacitação, a estratégia de pesquisa é exploratória e qualitativa. Os dados foram coletados através de entrevistas semiestruturadas e busca sistemática de documentação sobre tecnologias aplicadas à reciclagem, em meios acadêmicos, gerenciais e notícias na mídia. O escopo delimita a pesquisa aos resíduos sólidos domésticos, que constituem um problema ambiental e social, conforme detalhado na introdução. Nesse escopo é que parecem residir os grandes problemas, desafios e soluções, já que resíduos industriais e hospitalares, bem como cargas perigosas contam com adequado aparato tecnológico e legal para operarem. Após a coleta, realizou-se triangulação de análises, buscando as convergências das múltiplas fontes.

A Figura 1 mostra os caminhos da seleção dos princípios teóricos e do campo de investigação até chegar ao escopo definido no trabalho. Sobre a teoria, parte-se do conceito de redes e abordagem social de redes e, no ramo acima, utilizam-se as afirmativas da economia circular e reciclagem. Do lado direito coloca-se o campo de tecnologia, com o item de adoção. O encontro dos caminhos resulta no objetivo da pesquisa que é a busca das evidências dos problemas, desafios e soluções e uso de tecnologias em redes de reciclagem.

Figura 1. Escopo da pesquisa



Fonte: Os autores

Para a coleta construiu-se um quadro de indicadores, descritos no Quadro 2, resultado das análises anteriores. Os indicadores estão agrupados em duas categorias, uma sobre as etapas da reciclagem e outra sobre os fatores ambientais e humanos.

Quadro 2. Indicadores da cadeia na adoção de tecnologias na reciclagem

Variáveis da cadeia	
Descarte doméstico	Formas de separação e descarte nas residências e condomínios
Coleta	Formas, horários e tecnologias de coleta

Distribuição	Formas, seleção de locais e tecnologias de logística de distribuição
Triagem	Equipamentos, tecnologia e formas de triagem dos resíduos
Enfardamento	Equipamentos, tecnologia, etiquetagem e sistemas de enfardamento
Negociações	Capacidades e tecnologias de informação para negociação do material separado
Entrega do material	Formas e equipamentos de entrega do material
Variáveis do ambiente e dos atores	
Desconhecimento dos empresários	Falta de conhecimento sobre as tecnologias de reciclagem existentes
Cultura de prática dos consumidores	Práticas de uso de produtos e descarte
Adoção de tecnologias	Possíveis resistências e descompromisso na adoção de tecnologias para reciclagem
Participação do governo	Formas de participação, desde apoio direto às cooperativas, até tecnologias de fiscalização e controle
Economia circular	Formas, métodos e tecnologias de reciclagem de resíduos sólidos domésticos

Fonte: Os autores.

A coleta foi realizada até o ponto de exaustão, com repetição de dados (Fontanella et al., 2008). Os dados das entrevistas foram analisados conforme as regras de análise de conteúdo, especialmente a técnica de análise temática, que consiste na inferência da ideia central dos discursos às respostas de cada variável da matriz de indicadores (Bardin, 2011; Humble & Mozelius, 2022). Os dados de fontes secundárias com discursos foram analisados com as mesmas regras da análise das entrevistas e aqueles que continham tabelas e gráficos foram analisados conforme sua relação com o objetivo geral da pesquisa. Os dados de mídia foram analisados seguindo a mesma técnica de análise de discurso, ou seja, quais as afirmativas presentes no discurso dos vídeos.

DISCUSSÃO

Na análise das fontes secundárias foram selecionados os seguintes documentos, de caráter público: PNRS – Política Nacional Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010); NBR ISO – Organização Internacional de Normatização (ABNT, 2009); Relatório de Modelos de Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos do Brasil (ABDI & Abiplast, 2020); Relatório de Resíduos Sólido Plástico no Brasil (Abiplast, 2022); Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil (ABREMA, 2023); Inventário Estadual de Resíduos Sólidos do Estado de São Paulo (CETESB, 2022).

Os documentos são convergentes em indicar os caminhos de reciclagem, tanto internamente numa empresa, quanto no compromisso na rede. Por outro lado, eles atestam a continuidade de problemas não resolvidos, tais como a proibição de lixões a céu aberto, visíveis em vários municípios.

Quanto ao problema de pesquisa, os documentos não apresentam a resposta sobre os fatores humanos, ou de cadeia, na adoção de tecnologias. Coerente com planos do governo, apontam-se os caminhos, mas não se analisam causas de fracassos.

Foram realizadas entrevistas com o sujeito 1 - representante da diretoria de Organização não Governamental (ONG) que presta consultoria para cooperativas de reciclagem em São Paulo; sujeito 2 - Professor, pesquisador e consultor de cooperativas de reciclagem no Estado de São Paulo; sujeito 3 - Gestora Ambiental, trabalha em uma empresa de créditos de logística reversa de reciclagem no Estado de São Paulo e Espírito Santo; sujeito 4 - Secretário de Serviços

Públicos de um município do Estado de São Paulo, formado em Administração, mestre em urbanismo e Professor universitário; sujeito 5 - Empresário e diretor de operações de uma empresa de solução ambiental integrada para corpos hídricos.

Os discursos convergem na afirmativa que a tecnologia existe, porém é utilizada em baixa escala no Brasil, e que a reciclagem é uma questão social, um gerador de renda para famílias de baixa renda que são cooperados e catadores. Essa função social (das cooperativas) ocasiona certo desinteresse dos empresários em investirem em tecnologia. Esse cenário é diferente dos outros países, especialmente os desenvolvidos, porque existe uma cultura que a reciclagem é realizada por todos e que se paga pelo que produz, ou seja, o resíduo não é um problema de política pública.

Ainda de acordo com os respondentes, os empresários não percebem retorno a curto prazo no investimento em reciclagem, ao contrário do que percebem na produção. Nessa linha de discurso, os empresários seguem um caminho mais prático e barato, que é a aquisição de certificado de crédito de reciclagem, cumprindo parte das leis do Plano Nacional de Resíduos Sólidos.

Sobre a fonte de dados de mídia digital no tema de tecnologias de reciclagem, selecionaram-se vídeos nas plataformas Google, YouTube, sites de empresas e Ongs que desenvolvem projetos e ações de reciclagem. As expressões de busca foram *tecnologia na reciclagem*, *adoção de tecnologia em processos de reciclagem*, *tecnologias em cooperativas de reciclagem*, *problemas e desafios na adoção de tecnologia na reciclagem*, *soluções em tecnologia para reciclagem*. Selecionados os vídeos utilizou-se o software MAXQDA24 para transcrição das falas, realizando-se, a partir da transcrição, a análise de conteúdo nos mesmos padrões utilizados na revisão bibliográfica e nos discursos de entrevistas, isto é, buscando trechos que continham as palavras chaves das variáveis.

A seleção resultou em 5 mídias sobre problemas, 13 sobre desafios e 35 sobre soluções do uso de tecnologias na reciclagem.

Sobre as cinco indicações de problemas, há convergência que o consumidor não tem consciência e nem compromisso com a reciclagem. Isto é especialmente relevante no descarte do material. Outra concordância é sobre o não cumprimento da lei de PNRS por parte dos fabricantes, especificamente a regra de 30% de retorno do material que eles produzem. Outra convergência é sobre o atraso da legislação nos municípios, já que o PNRS prevê que cada município faça suas adaptações locais. As convergências referem-se aos mesmos pontos encontrados na revisão bibliográfica e nas entrevistas, sustentando as variáveis selecionadas sobre esses pontos.

Sobre as 13 indicações de desafios, uma primeira convergência é sobre a cobertura de atendimento municipal do serviço de coleta seletiva, sendo um desafio para prefeituras disponibilizar todo o atendimento aos munícipes. Como tema secundário, outra convergência é sobre a destinação correta do resíduo para centros de reciclagem, que está relacionada a infraestrutura de atendimento logístico pelas prefeituras para a distribuição dos resíduos entre as cooperativas cadastradas e da capacidade de produção destas cooperativas. O desafio é o mapeamento dessa situação.

Existem convergências no desafio da integração entre os sistemas de logística reversa do Estado e o sistema nacional para conseguir fazer o gerenciamento e verificação do destino dos resíduos. Entre os desafios está o de modernizar a legislação de produção de embalagens, adequando-as para a reciclagem.

Outro desafio consiste na integração/inclusão de importadores internacionais que não seguem a legislação brasileira. A legislação e prática de uso das plataformas que negociam produtos é um dos desafios desse campo. Sobre os atores, as concordâncias são sobre treinamentos para os gestores da indústria, para compreender o significado de economia circular

e incentivar a adoção com retorno a longo prazo. Um desafio é incrementar o futuro material reciclado na produção.

Sobre as 35 indicações de soluções, há convergência sobre o uso de aplicativos para gestão de resíduos, por exemplo, de vidro. Tais tecnologias cobrem a cadeia toda, desde o mapeamento de locais de descarte de resíduos, até a entrega para a indústria interessada. Outras soluções referem-se ao material já coletado, o que inclui tecnologias para conversão do resíduo em energia; nanotecnologia para tratamento de resíduos; impressão 3D a partir de resíduos. Outra convergência une tecnologia e métodos de biodegradação, com a criação de embalagem com fécula de mandioca. Após o uso essas embalagens viram adubo em até 90 dias.

Agrupando-se as soluções, pode-se identificar três tipos de tecnologias para a reciclagem: (a) mecânica, que utiliza equipamentos e processos mecânicos para realizar a triagem de resíduos em centros de reciclagem; (b) bioquímica, que envolve processos biológicos e químicos para o tratamento dos resíduos, transformando o resíduo orgânico em adubo; (c) tecnologia térmica, que utiliza o calor como ferramenta para tratamento dos resíduos, por exemplo, gerando energia.

Sobre o problema de pesquisa, a mídia aponta as soluções que existem, mas não encontramos registros claros sobre quais seriam os desafios e problemas de sua adoção.

Triangulando-se os dados obtidos, apresentam-se os Quadros 3 e 4, com os resultados das análises. Para cada indicador descreve-se resumidamente o resultado encontrado sobre os problemas, desafios e soluções. Conforme se verifica, vários campos de solução já estão preenchidos, mas não adotados. Os resultados confirmam a proposição inicial que os problemas e desafios dos fatores humanos jogam um papel importante na adoção de tecnologias.

Dois exemplos de adoção de tecnologias ilustram esse fator humano no tema. A Central Mecanizada de Triagem Carolina Maria de Jesus, na zona sul de São Paulo, é um exemplo de empresários que aceitaram o risco do investimento e se preocupam com o meio ambiente. A tecnologia instalada realiza várias funções de separação dos resíduos, até as etapas finais de preparo para enfardamento, com capacidade de reciclar por volta de 250 toneladas de resíduos por dia. O segundo exemplo é o Projeto de Embalagem Circular, que reúne grandes empresas com o objetivo de melhorar a circularidade dos sistemas de embalagem por meio da implementação de práticas sustentáveis e estratégias de design. São pesquisas e experimentos com embalagens cartonadas, biodegradáveis, substituição de camadas de alumínio por fibras, entre outras iniciativas (Tetra Pak, 2024). Todas com resultados positivos.

Quadro 3. Resultado da análise do uso de tecnologia em reciclagem com as variáveis da cadeia.

Variável		Problemas	Desafios	Soluções
Descarte Doméstico	Indicador	Recipientes inadequados.	Recipientes sustentáveis.	Material biodegradável.
	Descrição	Por exemplo, sacos de plástico não reciclável.	Ainda em baixa produção.	Utiliza técnicas de produção.
	Indicador	Descarte correto.	Adoção de tecnologias.	Tecnologia digital.
	Descrição	Falta de participação dos consumidores.	Uso de tecnologia existente por parte dos consumidores.	Ensina o descarte correto para os consumidores.
Variável		Problemas	Desafios	Soluções
Coleta	Indicador	Sistema ineficiente		Softwares de logística de coleta
	Descrição	Cobertura de coleta e equipamentos inadequados.		Para realizar o mapeamento dos postos de coleta

	Indicador	Entrega do resíduo	Realização de mapeamento	Aplicativo mobile
	Descrição	Falta de gestão logística para entrega em cooperativas disponíveis.	Identificação de cooperativas que tem capacidade de atendimento ao serviço.	Software de gestão para distribuição conforme a capacidade da cooperativa.
	Variável	Problemas	Desafios	Soluções
Distribuição	Indicador	Destinação dos resíduos.	Distribuição e destinação correta.	
	Descrição	Distribuição e destinação incorreta à aterros sanitários.	Separar resíduos recicláveis dos não e fazer a destinação correta entre aterro e cooperativa.	
	Variável	Problemas	Desafios	Soluções
Triagem	Indicador	Separação manual.	Adoção de Tecnologia.	Tecnologia 2D e 3D de separação de material.
	Descrição	Dominância de manuseio dos resíduos.	Maquinário moderno de triagem mecânica, por cor, tamanho e tipo.	Existe tecnologia para triagem e separação em 2D e 3D.
	Indicador	Limpeza dos resíduos	Realizar a limpeza em centros de triagem.	Utilização de água cinza.
	Descrição	Poucas cooperativas realizam a limpeza dos resíduos.	Criar recursos para aquisição de maquinários e aplicação nas cooperativas.	Água de reuso, não potável, adequada para essa atividade.
	Indicador	Etiquetagem Manual.	Adoção de tecnologia.	Existem tecnologias de etiquetagem
	Descrição	Dificuldade de identificação dos fardos de resíduos.	Criar condições para aquisição de tecnologias para identificação digital dos fardos	
	Variável	Problemas	Desafios	Soluções
Prensa e Enfardamento	Indicador	Armazenamento inadequado.	Oferta de condições e locais ideais para armazenamento	
	Descrição	Galpões de cooperativas semiabertos e com umidade.	Interesse de empresários em doar equipamentos para cooperativas.	
	Variável	Problemas	Desafios	Soluções
Negociação de Venda (Flutuação de preço)	Indicador	Negociação dos resíduos	Normas e padrões	Sistemas de informação de preços para o poder de barganha
	Descrição	Não existe padrão de preço, o valor flutua a cada rodada.	Normas de fixação de preços dos resíduos	Banco de dados de fornecedores, para

			com percentuais de flexibilização.	maior poder nas negociações.
	Indicador	Retirada dos resíduos.	Parcerias	Consórcios de cooperação
	Descrição	Falta de gestão e suporte para a retirada dos resíduos vendidos pelas cooperativas.	Parcerias com cooperativas e prefeituras de várias regiões.	O consórcio ajuda na gestão da logística de entrega desses resíduos.
Variável		Problemas	Desafios	Soluções
Logística e Entrega	Indicador	Logística Reversa	Infraestrutura e Custo	
	Descrição	Falta de adoção para logística reversa nas indústrias.	Falta de infraestrutura logística e alto custo do processo.	
	Indicador	Transporte	Transporte gratuito	
	Descrição	Falta de transporte, nas cooperativas, para entrega dos resíduos ao comprador.	Empresas ter um olhar social a atividades de cooperativas e colaborar com as atividades de logística, por exemplo disponibilizar o transporte.	

Fonte: Os autores.

Quadro 4. Resultado da análise do uso de tecnologia em reciclagem com as variáveis do ambiente e atores.

Variável		Problemas	Desafios	Soluções
Empresários e Tecnologia	Indicador	Descoberta de tecnologias	Capacitação	
	Descrição	Empresários da produção desconhecem tecnologias de facilitação de reciclagem.	Treinamentos para os empresários sobre novas tecnologias	
	Indicador	Descarte correto.	Difusão de Conhecimento	Adoção de Softwares de descarte correto
	Descrição	Falta de participação dos consumidores.	Uso de tecnologia existente por parte dos consumidores.	Programas ensinam o descarte correto para os consumidores.
Variável		Problemas	Desafios	Soluções
Educação Ambiental	Indicador	Cultura de prática	Mudança de cultura	
	Descrição	Consumidores tem práticas de descarte inadequado no solo e na água.	Mudança das práticas de descarte inadequado da população	
Variável		Problemas	Desafios	Soluções

Adoção de Tecnologia	Indicador	Implantação de tecnologias na produção	Implantação equilibrada	
	Descrição	Tecnologias são direcionadas para produção e raramente para reciclagem.	Equilíbrio do uso de tecnologias com incremento na ponta da reciclagem.	
	Indicador	Volume de plásticos.	Redução e modificação na produção, uso de tecnologias para plásticos.	Tecnologia para plásticos
	Descrição	O plástico é o maior problema de reciclagem em termo de quantidade.	P&D em inovação na fabricação de plástico biodegradável.	Algumas empresas estão desenvolvendo tecnologias para a redução e transformação de matérias primas de difícil reciclagem.
	Indicador	Alto custo de implantação	Parcerias	
	Descrição	Custo elevado para a implantação em cooperativas.	Parcerias para conseguir recursos para compra de tecnologias.	
	Indicador	P&D em tecnologia	Financiamento de projetos.	Projetos de Tecnologia
	Descrição	Falta de incentivo a P&D de tecnologia e inovação em reciclagem.	Acordos público e privado com projetos que financiem tecnologias em reciclagem.	Projetos de baixa escala mostra ser possível um incremento de tecnologias na reciclagem.
Variável	Problemas	Desafios	Soluções	
Participação do Governo	Indicador	Legislação para reciclagem	Cumprimento da PNRS	Iniciativa privada
	Descrição	Falta de ajustes da Legislação para reciclagem, por exemplo para os resíduos eletrônicos.	Operacionalização e cumprimento da legislação pelos participantes da reciclagem.	Iniciativas privadas de curto prazo para coleta de resíduos (ex. baterias, celulares, pilhas, sacolas plásticas).
	Indicador	Fiscalização	Agentes de fiscalização	
Descrição	O governo não fiscaliza o cumprimento da lei.	Agente suficientes e qualificados para administrar a tarefa.		
Variável	Problemas	Desafios	Soluções	
Economia Circular	Indicador	Volume de descarte	Capacidade de reciclagem	
	Descrição	O volume de descarte é maior que o de reciclagem	Aumento da capacidade de reciclagem.	

Indicador	Adoção da Economia Circular	Adoção pelos empresários	Programas do governo
Descrição	Falta da adoção da economia circular pelos atores da cadeia	Os empresários tenham condições para adotarem a economia circular.	Existem programas do governo de incentivo a industrialização de pequenas empresas.

Fonte: Os autores.

A conjunção dos dados sustenta a proposição que os problemas e desafios se encontram no lado humano, isto é, nas decisões, resistências e interesses de atores em adotar a economia circular e implantar tecnologias na rede de reciclagem. Existem tecnologias testadas e aprovadas em laboratório, sem implantação em escala. Do lado dos consumidores falta a educação ambiental adequada para a prática da separação e descarte correto. O governo não consegue fiscalizar as atitudes dos empresários e outros envolvidos na cadeia para o devido cumprimento da lei, e, no lado do consumidor, apresenta programas de educação ambiental que parecem não ter efeito na quantidade e manejo do resíduo sólido.

CONCLUSÃO

A proposição orientadora do artigo é que a questão da tecnologia em reciclagem repousa mais no fator humano do que na existência e disponibilidade de tecnologia. Os dados da pesquisa indicaram que a proposição se sustenta. No lado dos empresários trata-se de um descompromisso com a sustentabilidade e a legislação brasileira em vigor. Do lado dos consumidores trata-se de um descompromisso e desconhecimento sobre o descarte adequado. O governo edita leis e normas, e apoia-se em legislação que obteve sucesso em outros países, mas atrela a atualização das normas como tarefa de cada município, o que não ocorre na maioria deles.

A revisão bibliográfica indicou que a academia não tem respostas de gestão a oferecer, embora afirme os problemas e os desafios a serem vencidos. As entrevistas com sujeitos em funções variadas também enveredaram pelo caminho das dificuldades de obter compromisso dos atores, nos vários pontos da cadeia. Na análise de mídia digital sobre o tema ficou evidenciado que a tecnologia existe, inclusive com produtos de baixo custo, mas elas não estão implantadas nos elos da cadeia.

Os dados convergem para um ponto central, que é o domínio de um sistema de produção linear, que atende os reclames do varejo e dos consumidores, oferecendo facilidades no uso de produto. É verdade que os fabricantes se esforçam para uma produção limpa, mas não assumem responsabilidades pelo descarte lá na ponta. Assim, o plástico é o vilão da história, o maior poluidor da terra e da água. Sua produção cresce numa curva ascendente maior do que a capacidade de reciclagem das empresas e da capacidade de absorção da terra e da água onde são ilegalmente lançados.

A economia circular é colocada como a solução ideal tanto na academia quanto nas entrevistas. Existem leis que favorecem sua adoção, mas a resistência à inovação e risco é maior do que o empreendedorismo. A partir desse caminho, todos os esforços, de educação, de produção limpa, de marketing, de programas do governo, de planos de gestão de resíduos em cada empresa, deveriam partir desse sistema. A adoção da economia circular tem como consequência o uso de tecnologias de reciclagem com menor resistência, com menos risco percebido, porque faz parte do sistema da circularidade. A esses fatores, podem-se somar um apoio do governo e legitimação da população, como mostram alguns projetos temporários de limpeza de terrenos, praias e trechos de rios.

Quanto ao aspecto metodológico, a matriz de resultados é um benefício importante, que pode ser utilizada como ponto de partida para planejamento de pesquisas sobre o tema. Nela estão descritas as variáveis da produção acadêmica e o resultado obtido após a coleta.

Como limite do trabalho afirma-se que a pesquisa coletou dados que representam um painel de sujeitos e de mídias digitais, necessitando de estudos mais completos para validar a operacionalidade dos indicadores. Espera-se que o artigo possa motivar os pesquisadores a promoverem refinamentos na matriz de indicadores, buscando a construção de uma ferramenta de gestão sobre adoção de tecnologia na reciclagem.

REFERÊNCIAS

- ABDI, & Abiplast. (2020). *Modelos de Negócios para Aprimoramento da Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil*.
- Abiplast. (2022). *Relatório de Resíduos Sólido Plástico no Brasil*.
- ABNT. (2009). *Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR ISO 14040 : Gestão ambiental - avaliação do ciclo de vida - princípio e estrutura*. ABNT.
- ABREMA. (2023). *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil*.
- Bardin, L. (2011). *Análise de conteúdo* (70^o ed, Vol. 1). Edições.
- BRASIL. (2010). *Lei nº 12.305/2010 Plano Nacional de Resíduos Sólidos*. <https://sinir.gov.br/>
- CETESB. (2022). *Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Urbanos de São Paulo*.
- Chauhan, C., Parida, V., & Dhir, A. (2022). Linking circular economy and digitalisation technologies: A systematic literature review of past achievements and future promises. *Technological Forecasting and Social Change*, 177, 121508. <https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2022.121508>
- Cui, Y., Cao, Y., Ji, Y., Chang, I., & Wu, J. (2022). Determinant factors and business strategy in a sustainable business model: An explorative analysis for the promotion of solid waste recycling technologies. *Business Strategy and the Environment*, 31(5), 2533–2545. <https://doi.org/10.1002/bse.3042>
- De Almeida, S. T., & Borsato, M. (2019). Assessing the efficiency of End of Life technology in waste treatment—A bibliometric literature review. *Resources, Conservation and Recycling*, 140, 189–208. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2018.09.020>
- Faro, O. El, Calia, R. C., & Pavan, V. H. G. (2013). A logística reversa do lixo eletrônico: um estudo sobre a coleta do e-lixo em uma importante universidade brasileira. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 6(3), 142. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v6i3.461>
- Fontanella, B. J. B., Ricas, J., & Turato, E. R. (2008). Amostragem por saturação em pesquisas qualitativas em saúde: contribuições teóricas. *Cadernos de Saúde Pública*, 24(1), 17–27. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2008000100003>
- Forti, V., Baldé, C. P., Kuehr, R., & Bel, G. (2020). The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, Flows, and the Circular Economy Potential. Em *United Nations University (UNU)/United Nations Institute for Training and Research (UNITAR) – co-hosted SCYCLE Programme, International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA), Bonn/Geneva/Rotterdam*.
- Franzò, S., Urbinati, A., Chiaroni, D., & Chiesa, V. (2021). Unravelling the design process of business models from linear to circular: An empirical investigation. *Business Strategy and the Environment*, 30(6), 2758–2772. <https://doi.org/10.1002/BSE.2892>
- Gasde, J., Woidasky, J., Moesslein, J., & Lang-Koetz, C. (2021). Plastics Recycling with Tracer-Based-Sorting: Challenges of a Potential Radical Technology. *Sustainability*, 13(1), 1–16. <https://doi.org/10.3390/su13010258>
- Guillot, J. (2021). Economía circular: definición, importancia y beneficios. *Noticias-Parlamento Europeo*.

- Hærem, T., Pentland, B. T., & Miller, K. D. (2014). Task Complexity: Extending a Core Concept. *https://doi.org/10.5465/amr.2013.0350*, 40(3), 446–460. <https://doi.org/10.5465/AMR.2013.0350>
- Hennemann, T. H. da Silva., & Sehnem, S. (2022). The circular economy and Industry 4.0: synergies and challenges. *Revista de Gestão*, 29(3), 300–313. <https://doi.org/10.1108/REG-07-2021-0121>
- Humble, N., & Mozelius, P. (2022). Content Analysis or Thematic Analysis: Doctoral Students' Perceptions of Similarities and Differences. *Electronic Journal of Business Research Methods*, 20(3), 89–98. <https://doi.org/10.34190/ejbrm.20.3.2920>
- Jabbour, A. B. L. de S., Jabbour, C. J. C., Godinho Filho, M., & Roubaud, D. (2018). Industry 4.0 and the circular economy: a proposed research agenda and original roadmap for sustainable operations. *Annals of Operations Research*, 270(1–2), 273–286. <https://doi.org/10.1007/S10479-018-2772-8/TABLES/3>
- Khadke, S., Gupta, P., Rachakunta, S., Mahata, C., Dawn, S., Sharma, M., Verma, D., Pradhan, A., Krishna, A. M. S., Ramakrishna, S., Chakraborty, S., Saianand, G., Sonar, P., Biring, S., Dash, J. K., & Dalapati, G. K. (2021). Efficient plastic recycling and remolding circular economy using the technology of trust–blockchain. *Sustainability (Switzerland)*, 13(16). <https://doi.org/10.3390/su13169142>
- Khan, A. J., Ul Hameed, W., Iqbal, J., Shah, A. A., Tariq, M. A. U. R., & Ahmed, S. (2022). Adoption of Sustainability Innovations and Environmental Opinion Leadership: A Way to Foster Environmental Sustainability through Diffusion of Innovation Theory. *Sustainability (Switzerland)*, 14(21). <https://doi.org/10.3390/su142114547>
- Kishore, P. R., & Raghavendra. (2024). Exploring resistance factors in fintech adoption: An innovation resistance theory perspective. *Multidisciplinary Reviews*, 7(6). <https://doi.org/10.31893/multirev.2024110>
- Kurniawan, T. A., Dzarfan Othman, M. H., Hwang, G. H., & Gikas, P. (2022a). Unlocking digital technologies for waste recycling in Industry 4.0 era: A transformation towards a digitalization-based circular economy in Indonesia. *Journal of Cleaner Production*, 357. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.131911>
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H.-G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, 6(4), 239–242. <https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>
- Mariano, N., & Ferrarezi Junior, E. (2022). MEIO AMBIENTE. *Revista Interface Tecnológica*, 19(2). <https://doi.org/10.31510/infa.v19i2.1515>
- Meyer Montenegro, L., Bulgacov, S., Montenegro, L. M., & Bulgacov, S. (2014). Reflections on actor-network theory, governance networks, and strategic outcomes. *BAR - Brazilian Administration Review*, 11(1), 107–124. <https://doi.org/10.1590/S1807-76922014000100007>
- Mukhamadeyeva R.M., Bayazitova Z.E., Elyubaev S.Z., Makeyeva L.A., & Nurmaganbetov Z.O. (2018). Development of integrated technology of collection and recycling of plastic in small towns. *Journal of Environmental Management and Tourism*, 9(7), 1367–1376.
- Musyaffi, A. M., Santika, A. Z., Zairin, G. M., Johari, R. J., Rosnidah, I., & Mentari, M. (2023). Overcoming Barriers to Green Banking Adoption: Insights from Innovation Resistance Theory. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 18(11), 3539–3548. <https://doi.org/10.18280/ijstdp.181118>
- Nohria, N., Baker, W., & Eccles, R. G. (1992). The network organization in theory and practice. *Classics of Organization Theory*, 8, 401.
- Othman, A. K., Hamzah, M. I., & Abu Hassan, L. F. (2020). Modeling the contingent role of technological optimism on customer satisfaction with self-service technologies. *Journal*

- of Enterprise Information Management*, 33(3), 559–578. <https://doi.org/10.1108/JEIM-09-2019-0295>
- Rogers, E. M. (1995). *Diffusion of innovations: Vol. 4rd edition*. Free Press.
- Saueressig, G. G., Sellitto, M. A., & Kadel, N. (2021). Papel das cooperativas de reciclagem no retorno de Resíduos Sólidos Urbanos à indústria. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, 14(2), 355–366. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2021V14N2E6537>
- Silva, T. I. M., Braz, P. R., Cavalcante, R. B., & Alves, M. (2022). Diffusion of innovations theory and its applicability in research studies on nursing and health. *Texto e Contexto Enfermagem*, 31. <https://doi.org/10.1590/1980-265X-TCE-2021-0322>
- Tetra Pak. (2024). *Materiais renováveis à base de plantas*.
- Uzzi, B. (1997). Social Structure and Competition in Interfirm Networks: The Paradox of Embeddedness. *Administrative Science Quarterly*, 42(1), 35. <https://doi.org/10.2307/2393808>
- Zoubi, M. A. L., Alfaris, Y., Fraihat, B., Otoum, A., Nawasreh, M., & Alfandi, A. (2023). An extension of the diffusion of innovation theory for business intelligence adoption: A maturity perspective on project management. *Uncertain Supply Chain Management*, 11(2), 465–472. <https://doi.org/10.5267/j.uscm.2023.3.003>