ÁREA TEMÁTICA: OPERAÇÕES E LOGÍSTICA

CATEGORIA: ENANGRAD JÚNIOR

DO RESÍDUO AO CRÉDITO: RASTREABILIDADE E ORQUESTRAÇÃO DE VALOR EM ECOSSISTEMAS CIRCULARES

Resumo

A expansão da economia circular exige mecanismos capazes de coordenar atores autônomos, fluxos materiais e evidências de recuperação em cadeias de reciclagem fragmentadas. No Brasil, os créditos de reciclagem passaram a integrar formalmente os instrumentos de comprovação da logística reversa, ampliando a relevância da rastreabilidade e das entidades responsáveis por operacionalizar sistemas coletivos. Este estudo analisa como mecanismos de rastreabilidade associados aos créditos de reciclagem são mobilizados por uma organização focal para estruturar fluxos, coordenar atores e viabilizar a criação de valor em um ecossistema circular. Adotou-se abordagem qualitativa, por meio de estudo de caso único e revelador, inserido em um projeto de pesquisa mais amplo sobre plataformas circulares brasileiras. O corpus combina entrevistas semiestruturadas, registros processuais, materiais documentais e evidências de ferramentas digitais de rastreabilidade, analisados de forma temática e abdutiva. Os resultados mostram quatro mecanismos interdependentes: conversão de fluxos materiais em evidências verificáveis; coordenação de atores por meio de regras e incentivos; territorialização de cadeias para materiais com baixa atratividade econômica; e gestão de tensões entre escala e inclusão, integridade ambiental e competitividade, e formalização e participação. Argumenta-se que a rastreabilidade não opera apenas como mecanismo técnico de comprovação, mas como infraestrutura de governança que torna a circularidade verificável, coordenável e escalável. O estudo contribui para a literatura de ecossistemas circulares ao explicitar como créditos de reciclagem articulam informação, governança e criação de valor, ao mesmo tempo que produzem tensões distributivas e de participação.

Palavras-chave: economia circular; créditos de reciclagem; rastreabilidade; orquestração de ecossistemas; logística reversa.

Abstract

The expansion of the circular economy requires mechanisms capable of coordinating autonomous actors, material flows, and recovery evidence across fragmented recycling chains. In Brazil, recycling credits have become formal instruments for demonstrating reverse-logistics compliance, increasing the relevance of traceability and the organizations responsible for operating collective systems. This study examines how traceability mechanisms associated with recycling credits are mobilized by a focal organization to structure flows, coordinate actors, and enable value creation in a circular ecosystem. We adopt a qualitative approach through a revelatory single-case study embedded in a broader research project on Brazilian circular platforms. The corpus combines semi-structured interviews, process records, documentary materials, and evidence from digital traceability tools, analyzed thematically and abductively. The findings reveal four interdependent mechanisms: converting material flows into verifiable evidence; coordinating actors through rules and incentives; territorializing chains for materials with low economic attractiveness; and managing tensions between scale and inclusion, environmental integrity and competitiveness,

and formalization and participation. We argue that traceability operates not merely as a technical compliance mechanism but as governance infrastructure that makes circularity verifiable, coordinable, and scalable. The study contributes to circular ecosystem research by explaining how recycling credits connect information, governance, and value creation while simultaneously generating distributive and participation tensions.

Keywords: circular economy; recycling credits; traceability; ecosystem orchestration; reverse logistics.

1. Introdução

A transição da economia linear para a economia circular pressupõe mais do que a incorporação de práticas isoladas de reciclagem, reúso ou remanufatura. Ela exige a reorganização de relações interorganizacionais para que materiais, informações e responsabilidades circulem entre atores que permanecem juridicamente autônomos, mas se tornam mutuamente dependentes para produzir uma proposição de valor circular (Geissdoerfer et al., 2017; Kanda et al., 2021; Gomes et al., 2023). Essa característica torna a circularidade um problema de coordenação: resíduos precisam ser localizados, classificados, transportados e reintroduzidos em ciclos produtivos; atores com capacidades distintas precisam desempenhar atividades complementares; e as alegações de recuperação precisam ser sustentadas por evidências que permitam demonstrar que determinado resultado ambiental efetivamente ocorreu.

O debate ganhou centralidade no Brasil à medida que a logística reversa passou a incorporar instrumentos de certificação e mecanismos de comprovação baseados em rastreabilidade. O Decreto nº 11.413/2023 instituiu, entre outros instrumentos, o Certificado de Crédito de Reciclagem de Logística Reversa e atribuiu às entidades gestoras a responsabilidade de administrar a estruturação, implementação e operacionalização dos sistemas coletivos. O mesmo marco estabelece que os créditos sejam fundamentados em evidências documentais, incluindo notas fiscais eletrônicas e certificados de destinação final associados ao Manifesto de Transporte de Resíduos, com auditoria da rastreabilidade e do retorno efetivo das massas de materiais recicláveis (Brasil, 2023). Em 2026, orientações do Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos continuaram enfatizando padronização, verificação de resultados e reporte das entidades gestoras, indicando que a infraestrutura informacional se tornou componente substantivo da governança da logística reversa (MMA, 2026).

Entretanto, há uma lacuna relevante entre reconhecer a necessidade de coordenação e explicar os mecanismos concretos pelos quais a circularidade se torna verificável e governável. Estudos de ecossistemas enfatizam interdependências, complementaridades e arquitetura de participação (Adner, 2017; Jacobides et al., 2018), enquanto pesquisas sobre plataformas digitais destacam interfaces, regras e mecanismos de governança que estruturam interações entre participantes (Gawer, 2021; Blackburn et al., 2023). Ainda é menos compreendido como, em ecossistemas circulares, a rastreabilidade transforma eventos materiais dispersos em evidências capazes de sustentar um ativo de compensação e, simultaneamente, como essa infraestrutura informacional reorganiza incentivos, papéis, critérios de participação e possibilidades de escala.

Diante disso, este artigo busca responder à seguinte questão: como mecanismos de rastreabilidade associados aos créditos de reciclagem contribuem

para a orquestração de atores e fluxos em um ecossistema circular? O objetivo é analisar como esses mecanismos são mobilizados por uma organização focal para estruturar fluxos, coordenar atores e viabilizar a criação de valor circular. A escolha do caso decorre de sua capacidade de revelar, em profundidade, como uma organização que atua na gestão coletiva de logística reversa articula grandes empresas, operadores privados, cooperativas, recicladores e atores institucionais por meio de uma infraestrutura digital de rastreabilidade e compensação.

O artigo oferece duas contribuições. A primeira é teórica: propõe compreender a rastreabilidade como infraestrutura de governança do ecossistema, e não apenas como tecnologia de transparência ou mecanismo de compliance. Essa infraestrutura realiza três operações articuladas: torna a circularidade verificável ao converter fluxos materiais em evidências; torna-a coordenável ao definir papéis, incentivos e regras de participação; e torna-a potencialmente escalável ao permitir a conexão entre demandas e capacidades distribuídas territorialmente. A segunda contribuição é empírica: evidencia que os mesmos mecanismos que viabilizam escala e integridade também produzem tensões entre escala e inclusão, rigor ambiental e competitividade, e formalização e participação. Tais tensões ajudam a explicar por que a expansão de soluções circulares não é apenas um problema de eficiência, mas também de desenho de governança e distribuição de oportunidades no ecossistema.

Além desta introdução, o artigo está organizado em quatro seções. A próxima seção desenvolve o referencial teórico sobre ecossistemas circulares, orquestração e rastreabilidade. Em seguida, são apresentados o delineamento metodológico e os procedimentos de análise. A quarta seção discute os resultados empíricos, organizados pelos mecanismos identificados. Por fim, a conclusão sintetiza as contribuições, limitações e possibilidades de pesquisas futuras.

2. Fundamentação Teórica

2.1 Economia circular e ecossistemas circulares

A economia circular é usualmente apresentada como alternativa ao paradigma linear de extrair, produzir, consumir e descartar, buscando preservar valor por meio de estratégias como redução, reúso, reparo, remanufatura e reciclagem (Geissdoerfer et al., 2017; Kirchherr et al., 2017). Embora a circularidade tenha sido inicialmente discutida com forte ênfase em materiais, tecnologias e modelos de negócio, seu avanço passou a exigir unidades de análise capazes de capturar interdependências entre organizações. Isso ocorre porque fechar ciclos de recursos raramente depende de uma única empresa: resíduos gerados por um ator precisam encontrar capacidade logística, tecnológica e econômica em outros atores capazes de coletá-los, processá-los e reinseri-los em cadeias produtivas.

A literatura de ecossistemas circulares responde a essa limitação ao deslocar o foco da firma isolada para configurações de atores autônomos e interdependentes. Kanda et al. (2021) mostram que a perspectiva de ecossistemas permite compreender a implementação da circularidade para além do desenho de modelos de negócio individuais. Trevisan et al. (2022) destacam que ecossistemas circulares envolvem relações entre atores e fluxos de valor que precisam ser deliberadamente articulados para viabilizar resultados coletivos. Mais recentemente, Aryee et al. (2025), ao revisar a evolução desse campo, identificam governança, alinhamento, papéis dos atores e cocriação de valor como temas centrais para a consolidação teórica do conceito.

Gomes et al. (2023) avançam essa discussão ao mostrar que a gestão de ecossistemas circulares envolve a orquestração de duas dimensões

interdependentes: a proposição de valor circular e a configuração do ecossistema. A primeira define qual valor circular será produzido; a segunda organiza atores, papéis, atividades e relações que tornam essa proposição executável. Essa formulação é especialmente útil para compreender cadeias de reciclagem, nas quais a proposição de valor - recuperação e retorno de materiais ao ciclo produtivo - precisa ser sustentada por uma configuração capaz de conectar fontes de resíduos, organizações de triagem, operadores logísticos, recicladores, empresas responsáveis por metas e agentes de verificação.

2.2 Orquestração de ecossistemas: coordenação sem hierarquia

A noção de orquestração foi desenvolvida para explicar como atores focais coordenam redes de organizações juridicamente independentes. Dhanaraj e Parkhe (2006) definem a orquestração como um conjunto de ações deliberadas destinadas a criar e extrair valor em redes de inovação, por meio da gestão da mobilidade do conhecimento, apropriabilidade e estabilidade da rede. Embora formulada em outro contexto, a ideia central é particularmente útil para a economia circular: o orquestrador não controla hierarquicamente todos os participantes, mas cria condições para que recursos e atividades complementares sejam conectados em torno de um resultado coletivo.

Nos ecossistemas, o desafio de coordenação é ampliado porque os participantes possuem objetivos próprios e diferentes capacidades para contribuir e capturar valor. A literatura mostra que o desenho do ecossistema envolve escolhas sobre posições, papéis, complementaridades e formas de alinhamento (Adner, 2017; Jacobides et al., 2018). O orquestrador exerce influência ao definir interfaces, incentivar determinados comportamentos, estabelecer critérios de acesso e organizar informações que reduzem incertezas sobre como os participantes devem interagir. Em ecossistemas circulares, essa função é ainda mais complexa porque o valor depende de fluxos físicos que precisam atravessar múltiplas fronteiras organizacionais e territoriais.

Plataformas digitais podem desempenhar papel de orquestração porque estruturam interações por meio de interfaces, dados e regras. Gawer (2021) mostra que os limites de plataformas digitais são moldados por decisões sobre escopo, lados da plataforma e interfaces digitais. Blackburn et al. (2023), especificamente no contexto da economia circular, destacam mecanismos metaorganizacionais pelos quais plataformas articulam atores, informação e recursos para viabilizar circularidade. Assim, a infraestrutura digital não deve ser entendida como camada neutra: ela seleciona quais informações são registradas, quais atores são conectados e quais transações se tornam visíveis e governáveis.

2.3 Rastreabilidade e créditos de reciclagem como infraestrutura de governança

Rastreabilidade pode ser compreendida, de modo amplo, como a capacidade de acompanhar a origem, o percurso e a transformação de um objeto ou fluxo por meio de registros associados. Em cadeias circulares, sua importância decorre da distância entre o evento físico - coleta, triagem, transporte e reciclagem - e a alegação organizacional de que determinado material retornou ao ciclo produtivo. Quanto maior a dispersão geográfica e organizacional do fluxo, maior a necessidade de produzir evidências capazes de conectá-lo a uma sequência verificável de transações.

A literatura sobre plataformas oferece uma base para interpretar essa função. Gawer (2021) argumenta que interfaces digitais organizam intercâmbios de informação e ajudam a definir os limites de participação e controle em uma plataforma.

Blackburn et al. (2023) mostram que plataformas voltadas à economia circular podem atuar como metaorganizações, oferecendo mecanismos de coordenação que excedem a simples intermediação de mercado. Nessa perspectiva, digitalizar registros de massa, documentos fiscais e destinação não apenas reduz custos informacionais; também transforma uma atividade distribuída em um objeto governável, porque permite validar, comparar, consolidar e auditar resultados produzidos por participantes distintos.

No contexto brasileiro, essa relação entre rastreabilidade e governança é institucionalizada. O Decreto nº 11.413/2023 define o crédito de reciclagem como documento capaz de comprovar a restituição ao ciclo produtivo de massa equivalente de produtos ou embalagens e estabelece lastro em notas fiscais eletrônicas e certificado de destinação final emitido por meio do MTR/SINIR. A norma também exige auditoria da rastreabilidade das notas fiscais e confirmação do retorno efetivo das massas, além de mecanismos para preservar unicidade e evitar colisão na contabilização (Brasil, 2023). O papel das entidades gestoras é, portanto, simultaneamente operacional e informacional: elas administram o sistema coletivo e consolidam evidências para comprovação dos resultados.

Essa infraestrutura também cria efeitos distributivos. Ao estabelecer quais documentos são válidos, quais operadores podem participar e quais massas podem compor os resultados, a governança informacional favorece determinados modos de organização e pode impor custos de formalização a atores com menor capacidade administrativa. Ao mesmo tempo, a remuneração associada ao crédito pode criar uma fonte adicional de valor para atividades que anteriormente eram remuneradas apenas pela venda do material. Portanto, rastreabilidade e crédito devem ser analisados conjuntamente como mecanismos que coordenam, valorizam e selecionam fluxos em um ecossistema circular.

2.4 Tensões na criação de valor circular

A literatura de ecossistemas adverte que mecanismos de coordenação capazes de produzir eficiência e escala também podem gerar novas falhas. Jacobides, Cennamo e Gawer (2024) argumentam que arquiteturas de plataformas e ecossistemas podem solucionar falhas existentes e, simultaneamente, produzir falhas endógenas de natureza funcional ou distributiva. As primeiras decorrem da incapacidade de produzir valor conjunto de forma adequada; as segundas surgem quando a arquitetura permite captura de valor desproporcional ou cria condições que reduzem a participação de determinados membros. Essa perspectiva é pertinente para ecossistemas circulares, nos quais os participantes diferem fortemente em escala, formalização, capacidade tecnológica e poder de negociação.

Uma primeira tensão refere-se à relação entre escala e inclusão. Sistemas capazes de movimentar grandes massas podem favorecer operadores com elevada capacidade operacional, enquanto cooperativas e organizações menores podem gerar menor volume, embora possuam importância social e ambiental específica. Uma segunda tensão envolve integridade ambiental e competitividade econômica. Regras mais estritas de equivalência, rastreabilidade e validação podem fortalecer a credibilidade da solução, mas elevar custos em comparação a alternativas mais flexíveis. A terceira tensão diz respeito à formalização e participação: exigências documentais aumentam auditabilidade, porém podem funcionar como barreiras para atores que operam em contextos de informalidade ou baixa capacidade administrativa.

3. Metodologia

A pesquisa adotou abordagem qualitativa e delineamento de estudo de caso único de caráter revelador. Estudos de caso são adequados para investigar fenômenos contemporâneos complexos quando os limites entre o fenômeno e seu contexto não podem ser claramente separados e quando o interesse recai sobre mecanismos e processos organizacionais (Eisenhardt, 1989; Eisenhardt, 2021). O caso foi selecionado teoricamente por sua capacidade de revelar como uma organização focal que atua em sistemas coletivos de logística reversa transforma evidências de recuperação de resíduos em créditos verificáveis e coordena uma rede heterogênea de empresas, operadores, cooperativas, recicladores e atores institucionais.

A organização estudada é uma plataforma brasileira de gestão e rastreabilidade de resíduos pós-consumo que atua na operacionalização de compensação ambiental e créditos de reciclagem. Por razões de confidencialidade e para reduzir o risco de reidentificação durante a avaliação às cegas, seu nome, marcas, nomes de programas, nomes de entrevistados e detalhes singulares de determinados territórios foram omitidos. Ao longo do artigo, ela é denominada organização focal. Os cargos dos participantes também foram generalizados quando sua combinação com a fala poderia permitir identificação indireta.

O estudo deriva de um programa de pesquisa mais amplo sobre plataformas digitais e ecossistemas circulares no Brasil. O banco geral reúne 53 entrevistas realizadas entre 2024 e 2025, de forma presencial e on-line, com duração entre 43 e 92 minutos, além de materiais de websites, reportagens, podcasts, registros operacionais e observações de ferramentas digitais. Para este artigo foi realizado um recorte analítico exclusivamente do caso focal, utilizando as entrevistas, registros processuais e documentos diretamente relacionados à operação de créditos de reciclagem, à rastreabilidade, à articulação da cadeia e às tensões de escala e participação. Essa estratégia permite explorar em profundidade um mecanismo específico sem reproduzir a comparação multicasos do projeto original.

A análise foi conduzida de forma temática e abdutiva, com movimento iterativo entre evidências empíricas e literatura (Locke et al., 2022). Em uma primeira etapa, foram revisitadas as transcrições e notas do caso para mapear ações, decisões e relações associadas ao ciclo do crédito de reciclagem. A codificação inicial privilegiou termos próximos à linguagem dos participantes, como gestão de notas fiscais, compensação por material, conexão da cadeia, estruturação de rotas, homologação de parceiros, escala e cooperativas. Em uma segunda etapa, códigos relacionados foram agrupados em mecanismos de segunda ordem: tornar fluxos verificáveis; coordenar atores e incentivos; territorializar capacidades de reciclagem; e administrar tensões de governança. Na terceira etapa, esses mecanismos foram confrontados com a literatura sobre ecossistemas circulares, orquestração e governança de plataformas para produzir uma interpretação teórica do papel da rastreabilidade.

A triangulação entre entrevistas, evidências documentais e registros processuais foi utilizada para reduzir a dependência de uma única fonte. As citações apresentadas nos resultados foram selecionadas por sua capacidade de representar padrões recorrentes e mecanismos centrais do caso, e não por sua força retórica isolada. Como o propósito é explicação analítica, não se busca generalização estatística. A transferibilidade das conclusões depende da similaridade entre o caso e outros sistemas nos quais um ator focal coordena fluxos de materiais por meio de mecanismos digitais e documentais de verificação.

Ferramentas de Inteligência Artificial generativa foram utilizadas de forma complementar durante a preparação do manuscrito, exclusivamente como apoio à organização textual, revisão linguística, sistematização de informações e geração de imagem. Todo conteúdo produzido com esse apoio foi submetido à revisão crítica dos autores. As decisões relativas ao delineamento da pesquisa, procedimentos metodológicos, análise e interpretação dos dados, construção da argumentação e conclusões foram realizadas pelos autores, que assumem integral responsabilidade pela precisão, integridade e originalidade do trabalho. A Inteligência Artificial não foi utilizada para produzir ou alterar dados empíricos, fabricar evidências, criar resultados ou substituir o julgamento científico dos autores.

4. Análise e Discussão dos Resultados

A análise revelou que os créditos de reciclagem operam por meio de uma infraestrutura de coordenação que combina registros, regras, incentivos e intervenção territorial. Quatro mecanismos estruturam os resultados: (i) conversão de fluxos materiais em evidências verificáveis; (ii) coordenação de atores e distribuição de incentivos; (iii) territorialização da capacidade circular; e (iv) gestão de tensões entre escala, integridade e inclusão. Esses mecanismos são interdependentes: a expansão do ecossistema depende de rastreabilidade, mas a rastreabilidade também define quem e o que pode ser reconhecido dentro dele.

4.1 Do fluxo material à evidência verificável

O primeiro mecanismo identificado é a transformação de atividades físicas dispersas em registros capazes de sustentar uma alegação verificável de circularidade. No fluxo tradicional de reciclagem, a organização que coleta ou tria o material obtém receita principalmente da comercialização do resíduo. No sistema observado, a documentação associada a essa comercialização passa a possuir uma segunda função: torna-se evidência que permite reconhecer a massa recuperada como parte de um resultado de logística reversa. Um gestor explicou a lógica da infraestrutura digital:

“Foi criada uma plataforma muito robusta para fazer a gestão dessas notas fiscais, porque o crédito de logística reversa representa uma fonte adicional de renda para as centrais de triagem. Antes, a renda vinha basicamente da venda do material para o reciclador; muitas vezes, coleta e triagem não eram remuneradas.” (Entrevista, gestor da organização focal)

A fala mostra que a nota fiscal deixa de ser apenas documento contábil de uma transação e passa a compor a infraestrutura de representação do fluxo circular. O valor do crédito depende da possibilidade de associar a documentação a uma massa efetivamente destinada à reciclagem e de preservar a unicidade dessa evidência. Esse resultado converge com Gawer (2021), para quem interfaces e dados são componentes de governança de plataformas, e com Blackburn et al. (2023), que identificam nas plataformas circulares mecanismos metaorganizacionais de coordenação. O caso acrescenta que, quando a circularidade é certificada por massa, a infraestrutura digital converte um evento material em uma unidade verificável de resultado ambiental.

Essa interpretação encontra respaldo no desenho regulatório brasileiro. O Decreto nº 11.413/2023 estabelece que o crédito de reciclagem seja fundamentado em certificados de destinação final e notas fiscais eletrônicas e determina auditoria da rastreabilidade e do retorno efetivo das massas (Brasil, 2023). A regulação, portanto, não trata informação como elemento periférico: a capacidade de comprovar a

circulação do material é constitutiva do próprio instrumento. As orientações do SINIR para relatórios de resultados reforçam a busca por padronização e verificabilidade dos procedimentos de logística reversa (MMA, 2026).

O achado permite qualificar o papel da rastreabilidade. Ela não é apenas transparência sobre algo que já ocorreu; é uma condição para que o ocorrido se torne reconhecível e mobilizável em um sistema de compensação. Essa função pode ser denominada conversão informacional do valor circular: a recuperação física gera valor ambiental, mas esse valor somente pode circular institucionalmente quando traduzido em registros que conectam material, quantidade, atores e destinação. O crédito é, nesse sentido, uma representação governada do fluxo físico.

4.2 Coordenação de atores e estruturação dos fluxos

O segundo mecanismo refere-se à coordenação interorganizacional. A organização focal não realiza todas as etapas físicas da reciclagem; sua função depende de conectar agentes que ocupam posições distintas e dispõem de recursos complementares. Um participante associado ao desenvolvimento do negócio descreveu a estratégia como construção de ecossistema:

"É um investimento voltado ao que chamamos de construção de ecossistema. Para fazer isso, é preciso conectar vários atores da cadeia e trabalhar em parceria com eles." (Entrevista, investidor relacionado à organização focal)

Essa lógica é compatível com a noção de orquestração de Dhanaraj e Parkhe (2006): o ator focal não precisa internalizar os recursos dos parceiros para coordená-los em torno de uma proposição de valor. No caso analisado, a proposição de valor depende de uma arquitetura que conecta empresas responsáveis por metas, centrais de triagem, cooperativas, operadores privados, recicladores e atores públicos. O crédito funciona como incentivo e como linguagem comum: traduz diferentes atividades em uma unidade de comprovação que pode ser articulada à meta de logística reversa.

O material empírico mostra, entretanto, que conectar atores não equivale a simplesmente disponibilizar um marketplace. Em materiais com baixa atratividade econômica, a organização focal precisa intervir na própria estrutura da cadeia. Um gestor utilizou o vidro para explicar essa diferença:

"Nosso papel é conectar os agentes da cadeia. Em materiais como o vidro, o problema não é a reciclabilidade em si, mas fazer o material chegar ao reciclador. Em alguns territórios, foi necessário estruturar a cadeia junto com clientes e parceiros." (Entrevista, gestor da organização focal)

O trecho revela que a coordenação se desloca da intermediação para a estruturação quando complementaridades essenciais estão ausentes. Se um material é tecnicamente reciclável, mas não existe combinação economicamente viável entre coleta, transporte, agregação de volume e capacidade recicladora, a proposição de valor permanece incompleta. Esse resultado reforça Gomes et al. (2023): gerenciar um ecossistema circular exige trabalhar conjuntamente a proposição de valor e a configuração dos atores que a tornam possível. A organização focal precisa, portanto, identificar lacunas na configuração e criar conexões para que o fluxo consiga chegar ao elo capaz de efetivar a reciclagem.

"Há o desafio de dar valor a materiais de baixo valor e, ao mesmo tempo, uma dimensão social. Não se trata apenas de investir em notas fiscais; há pessoas em situação de vulnerabilidade trabalhando nessa cadeia. É preciso olhar para as necessidades das centrais de triagem e, sobretudo, dessas pessoas." (Entrevista, gestor da organização focal)

A fala amplia o significado do valor circular: há uma dimensão econômica vinculada à recuperação do material e uma dimensão distributiva associada a quem realiza o trabalho necessário para que o fluxo exista. Essa constatação aproxima o caso do debate sobre ecossistemas como arquiteturas de criação e captura de valor (Jacobides et al., 2018). O desafio do orquestrador não é somente maximizar o volume recuperado, mas decidir como regras, incentivos e relações distribuem oportunidades entre atores heterogêneos.

4.3 Territorialização: quando a plataforma precisa construir a cadeia

O terceiro mecanismo é a territorialização. Embora a camada digital permita consolidar dados e conectar demandas em escala ampla, os materiais continuam submetidos a distâncias, densidade, custo de transporte e presença de capacidade local de triagem e reciclagem. A análise mostra que a circularidade digitalmente coordenada permanece materialmente territorial. Um gestor sintetizou essa lógica ao explicar que a compensação precisa encontrar capacidade real na região em que o fluxo é reconhecido:

“A operação precisa considerar cada território. O material tem de encontrar uma cadeia habilitada, e a plataforma faz o encontro entre a demanda de compensação e a capacidade disponível, registrando as informações para preservar a integridade do processo.” (Entrevista, gestor da organização focal)

Em contextos nos quais não existia uma cadeia funcional para determinado material, o papel da organização focal foi além do matching. O relato de uma experiência em território da região Norte mostra a necessidade de construir capacidade local:

“Havia um território em que praticamente não existia reciclagem local de vidro. Foi preciso apoiar, junto ao poder público e a parceiros, a conexão dos agentes e a implantação de capacidade para receber, comprar e reciclar esse material.” (Entrevista, gestor da organização focal)

Esse achado evidencia uma limitação de interpretações estritamente digitais da orquestração. A plataforma pode reduzir assimetrias de informação e facilitar correspondências, mas não elimina as condições físicas do fluxo. Para materiais de baixo valor por unidade de peso e alto custo logístico, a distância entre geração e reciclagem pode inviabilizar a circularidade mesmo quando existe demanda corporativa por compensação. A criação de valor exige, então, investimentos relacionais e institucionais para constituir infraestrutura local e densidade de atores.

4.4 As tensões da orquestração circular

O quarto conjunto de achados mostra que a expansão do ecossistema não ocorre sem trade-offs. Três tensões aparecem de forma recorrente: integridade ambiental versus competitividade econômica; escala versus inclusão; e formalização versus participação. Em vez de serem problemas periféricos, essas tensões são efeitos do próprio desenho de governança e ajudam a compreender os limites da orquestração baseada em créditos.

A primeira tensão emerge dos critérios de equivalência da compensação. A organização focal adota uma regra interna mais estrita de correspondência entre material colocado no mercado e material compensado. Uma gestora descreveu essa escolha e seu custo competitivo:

“Se a empresa colocou papel, a compensação é com papel; se colocou plástico, com plástico. Há soluções mais baratas que fazem equivalências entre materiais,

mas entendemos que isso reduz a integridade ambiental da compensação." (Entrevista, gestora da organização focal)

A decisão mostra que regras de governança carregam uma concepção substantiva do que deve contar como resultado circular. A escolha por manter equivalência material limita possibilidades de arbitragem entre materiais com diferentes preços e disponibilidades, podendo elevar o custo da solução. Em contrapartida, preserva coerência entre a externalidade gerada e a massa recuperada. Assim, a organização focal enfrenta uma tensão entre competir em um mercado no qual soluções mais flexíveis podem ser mais baratas e manter um padrão considerado ambientalmente mais íntegro.

Do ponto de vista teórico, esse achado sugere que mecanismos de orquestração não são neutros em relação à definição de valor. Ao estabelecer regras de equivalência, o orquestrador determina quais resultados serão reconhecidos como substitutos legítimos. Isso se conecta à discussão de Jacobides et al. (2024) sobre falhas endógenas de arquitetura: regras que aumentam eficiência econômica podem produzir perdas funcionais ou distributivas se enfraquecem a qualidade do valor conjunto. No contexto circular, a integridade da compensação depende de equilibrar flexibilidade de mercado e consistência ambiental.

A segunda tensão aparece na composição da base operacional. Cooperativas possuem relevância socioambiental e são priorizadas por instrumentos regulatórios, mas nem sempre dispõem do mesmo volume e capacidade operacional de operadores privados. Uma entrevistada sintetizou o dilema:

"A cooperativa é muito importante, mas o volume anual tende a ser menor que o de um operador privado. Se queremos escala, precisamos trabalhar com essa composição. Esse é um problema que temos enfrentado." (Entrevista, gestora da organização focal)

O ponto central não é opor cooperativas e empresas privadas, mas reconhecer que diferentes objetivos de desempenho podem induzir configurações distintas do ecossistema. Uma estratégia orientada à maximização de massa recuperada pode favorecer operadores de grande porte; uma estratégia orientada à estruturação socioeconômica da cadeia pode demandar investimentos adicionais em capacidade, formalização e desenvolvimento de cooperativas. A regulação brasileira procura aproximar essas dimensões ao priorizar notas fiscais oriundas de catadores, cooperativas e associações e ao atribuir às entidades gestoras ações estruturantes voltadas a esses atores (Brasil, 2023).

O achado amplia a literatura de orquestração ao evidenciar que escala não é apenas resultado quantitativo. A configuração escolhida para escalar define quem participa da captura de valor. Em ecossistemas heterogêneos, eficiência operacional e inclusão social podem exigir mecanismos distintos de incentivo e desenvolvimento de capacidade. Assim, avaliar o desempenho do orquestrador apenas pela massa recuperada pode ocultar efeitos distributivos relevantes.

A terceira tensão decorre das exigências de rastreabilidade. Para que uma massa seja utilizada como evidência de logística reversa, ela precisa tornar-se documentalmente legível: notas fiscais, registros de destinação e dados de operadores integram o processo de verificação. Esse desenho fortalece integridade e reduz risco de dupla contagem, mas cria custos administrativos. A tensão é especialmente relevante em uma cadeia na qual parte dos atores possui baixa capacidade de formalização.

Nesse ponto, o caso revela uma ambivalência da infraestrutura de rastreabilidade. Ela pode favorecer inclusão ao criar remuneração adicional para

centrais de triagem, mas também pode restringir participação quando requisitos documentais excedem a capacidade dos atores menores. O desafio de governança é, portanto, criar mecanismos de suporte que permitam aos atores alcançar os padrões necessários sem reduzir a confiabilidade do sistema. O Decreto nº 11.413/2023 reconhece implicitamente esse desafio ao estabelecer prioridade para catadores e cooperativas e prazos de adequação específicos para diferentes atores (Brasil, 2023).

Quadro 1 - Mecanismos de orquestração identificados no caso

Mecanismo	**Operação de governança**	**Evidência empírica sintetizada**	**Implicação/tensão**
Conversão informacional	Transforma fluxo físico em registro verificável e auditável.	Gestão de notas fiscais e associação da massa recuperada ao crédito.	Cria valor informacional, mas exige capacidade documental.
Coordenação interorganizacional	Conecta empresas, operadores, cooperativas, recicladores e atores públicos.	Construção de ecossistema e estruturação de cadeias por material.	Coordenação sem hierarquia; distribuição de valor entre participantes.
Territorialização	Relaciona demanda de compensação à capacidade física disponível em cada território.	Estruturação de cadeias locais quando a infraestrutura é insuficiente.	Escala digital depende de complementaridades materiais locais.
Integridade da compensação	Define critérios sobre quais materiais podem compensar determinadas obrigações.	Preferência por correspondência entre tipo de material gerado e compensado.	Integridade ambiental versus competitividade de preço.
Configuração para escala	Combina atores com capacidades e volumes distintos.	Uso conjunto de cooperativas e operadores privados para ampliar capacidade.	Escala versus inclusão e desenvolvimento socioeconômico.

Fonte: elaboração dos autores a partir dos dados da pesquisa.

4.5 Síntese teórica: rastreabilidade como infraestrutura de governança circular

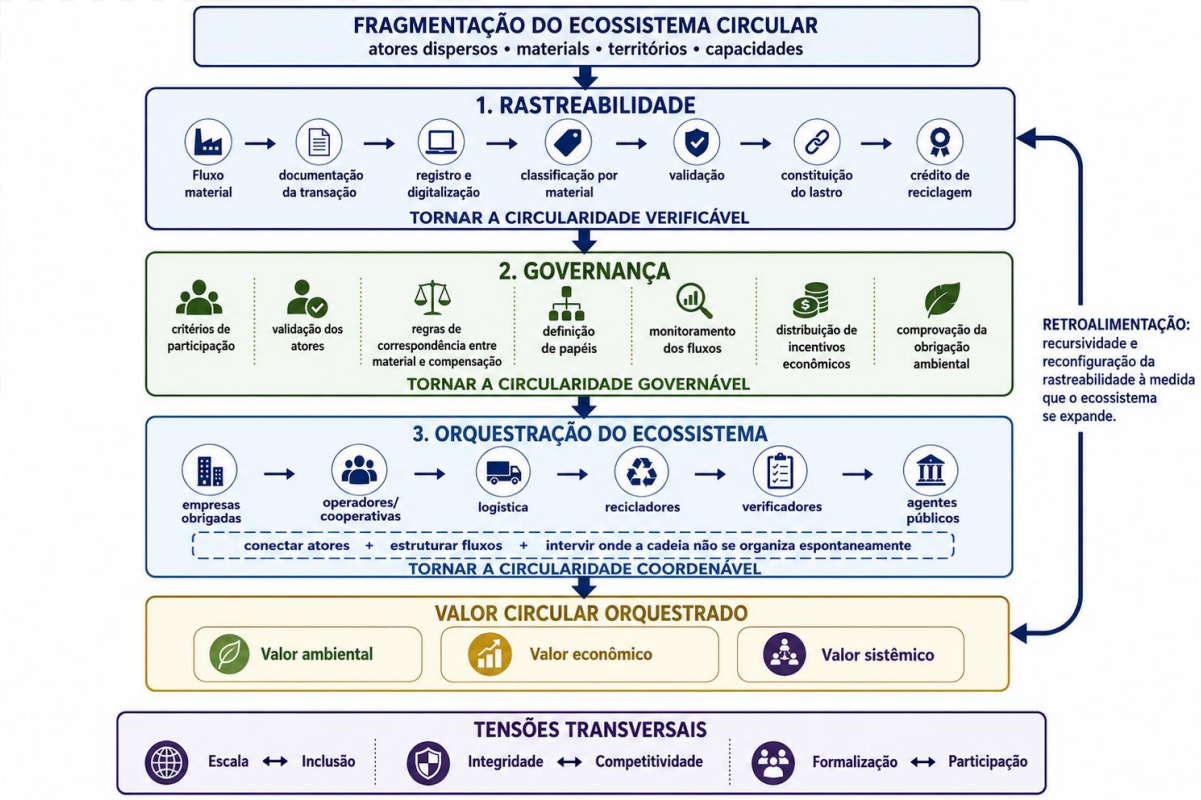
A leitura integrada dos resultados permite propor que a rastreabilidade desempenha três funções de governança articuladas. A primeira é tornar a circularidade verificável. Para isso, a infraestrutura conecta eventos materiais a documentos, massas, datas e destinos, permitindo que uma prática distribuída seja reconhecida como resultado. A segunda é tornar a circularidade coordenável. Regras de validação, critérios de participação e incentivos associados ao crédito organizam como atores autônomos interagem e quais contribuições são reconhecidas. A terceira

é tornar a circularidade escalável, ao permitir que demandas corporativas de compensação sejam combinadas com capacidades distribuídas e, quando necessário, estimular a formação de novas complementaridades territoriais.

Essas três funções podem ser representadas como uma sequência analítica: fluxo material → registro rastreável → evidência verificável → crédito → coordenação de incentivos → expansão do ecossistema. A sequência, contudo, não é linear nem livre de conflitos. Quanto mais o sistema expande, maior a necessidade de decidir quais atores e materiais entram, quais critérios de integridade são mantidos e como capacidades desiguais serão tratadas. Assim, a rastreabilidade atua simultaneamente como infraestrutura de abertura - porque torna novos fluxos economicamente reconhecíveis - e como infraestrutura de seleção - porque somente fluxos que cumprem determinados critérios podem ser incorporados ao sistema.

Essa interpretação contribui para a literatura de ecossistemas circulares ao especificar um mecanismo micro organizacional de orquestração. Gomes et al. (2023) mostram que a gestão do ecossistema envolve orquestrar a proposição de valor e a configuração de atores; os resultados aqui apresentados detalham como uma infraestrutura de rastreabilidade conecta essas dimensões. O crédito dá forma econômica à proposição de valor, enquanto os registros, regras e processos de validação moldam a configuração de participação. Em complemento a Blackburn et al. (2023), o estudo evidencia que o valor das plataformas circulares não reside apenas em conectar lados ou disponibilizar tecnologia, mas em produzir uma arquitetura informacional capaz de transformar circularidade dispersa em resultado verificável e governável.

Figura 1 - Modelo analítico emergente: da rastreabilidade à orquestração de valor circular



Fonte: elaboração dos autores com base nos achados da pesquisa e apoio da Inteligência Artificial Generativa.

O modelo sintetiza o argumento do artigo: a passagem do resíduo ao crédito depende da conversão de fluxos materiais em evidências rastreáveis; essas evidências sustentam mecanismos de governança e compensação; e tais mecanismos coordenam atores e incentivos para produzir valor circular. O processo é condicionado pelas tensões de escala e inclusão, integridade e competitividade, e formalização e participação.

5. Considerações Finais

Este estudo investigou como mecanismos de rastreabilidade associados aos créditos de reciclagem contribuem para a orquestração de atores e fluxos em um ecossistema circular. A análise de um caso brasileiro mostrou que a operação do crédito depende de uma infraestrutura que conecta recuperação física, documentação, validação, incentivos e capacidades distribuídas. Os resultados identificaram quatro mecanismos: conversão de fluxos materiais em evidências verificáveis; coordenação interorganizacional de atores e incentivos; territorialização de cadeias de reciclagem; e gestão de tensões entre objetivos econômicos, ambientais e sociais.

A principal conclusão é que a rastreabilidade não deve ser tratada apenas como mecanismo técnico de transparência ou comprovação regulatória. Ela funciona como infraestrutura de governança. Ao definir quais registros são aceitos, como massas são associadas a operações, quais atores podem participar e como evidências são validadas, a rastreabilidade cria as condições para que o valor circular seja reconhecido, coordenado e ampliado. O crédito de reciclagem é o resultado visível dessa infraestrutura, mas sua existência depende de um processo organizacional anterior de tradução do fluxo material em informação verificável.

A primeira contribuição teórica dirige-se à literatura de ecossistemas circulares. Estudos anteriores evidenciam a importância de alinhamento, configuração de atores e proposições de valor (Kanda et al., 2021; Gomes et al., 2023; Aryee et al., 2025). Este artigo especifica a rastreabilidade como mecanismo que conecta essas dimensões: ela vincula a proposição de valor - recuperação comprovada de materiais - à configuração do ecossistema - atores, papéis, regras e territórios necessários para materializá-la. Assim, contribui ao explicar como uma proposição circular abstrata se torna operacional e auditável.

A segunda contribuição refere-se à literatura de orquestração e plataformas. Enquanto a orquestração é frequentemente associada à mobilização de recursos, alinhamento e governança de participantes (Dhanaraj & Parkhe, 2006; Gawer, 2021), o caso mostra que, em ecossistemas circulares, o orquestrador também precisa governar a representação dos fluxos materiais. A informação não é mero suporte à transação: ela define o que pode ser reconhecido como valor circular. Essa materialidade distingue a orquestração circular de plataformas nas quais o valor pode ser produzido predominantemente por interações digitais.

Do ponto de vista gerencial, os resultados sugerem que entidades gestoras e outros orquestradores de sistemas circulares devem tratar rastreabilidade, desenvolvimento de parceiros e desenho de incentivos como partes de uma mesma arquitetura. Investir exclusivamente em sistemas digitais pode ser insuficiente quando faltam atores capazes de realizar etapas físicas do fluxo. Da mesma forma, perseguir volume sem mecanismos de desenvolvimento de cooperativas pode ampliar capacidade, mas reduzir o potencial inclusivo do sistema. Indicadores de desempenho deveriam combinar massa recuperada, integridade documental, diversidade de

atores, participação de organizações de catadores e capacidade criada em territórios anteriormente desassistidos.

A pesquisa possui limitações. Trata-se de estudo de caso único e qualitativo, o que restringe generalizações estatísticas. Além disso, o recorte enfatiza a perspectiva da organização focal e de atores diretamente associados ao sistema; pesquisas futuras devem ampliar a voz de cooperativas, operadores, empresas aderentes, recicladores e reguladores para comparar como diferentes grupos percebem a distribuição de custos e benefícios. Estudos comparativos entre entidades gestoras poderiam investigar como diferentes regras de equivalência, composição da rede e mecanismos de verificação produzem resultados distintos. Pesquisas quantitativas também podem testar relações entre intensidade de rastreabilidade, confiança, participação de atores e desempenho de recuperação.

Referências

Adner, R. (2017). Ecosystem as structure: An actionable construct for strategy. Journal of Management, 43(1), 39–58. https://doi.org/10.1177/0149206316678451

Aryee, R., Kanda, W., Geissdoerfer, M., & Kirchherr, J. (2025). Circular ecosystems: Past, present, and future research directions. Journal of Industrial Ecology, 29(4), 1364–1381. https://doi.org/10.1111/jiec.70061

Blackburn, O., Ritala, P., & Keränen, J. (2023). Digital platforms for the circular economy: Exploring meta-organizational orchestration mechanisms. Organization & Environment, 36(2), 253–281. https://doi.org/10.1177/10860266221130717

Brasil. (2023). Decreto nº 11.413, de 13 de fevereiro de 2023. Institui o Certificado de Crédito de Reciclagem de Logística Reversa, o Certificado de Estruturação e Reciclagem de Embalagens em Geral e o Certificado de Crédito de Massa Futura. Presidência da República.

Confederação Nacional da Indústria. (2025). Economia circular: Barreiras, oportunidades e práticas na indústria. Sondagem Especial, 96.

Dhanaraj, C., & Parkhe, A. (2006). Orchestrating innovation networks. Academy of Management Review, 31(3), 659–669. https://doi.org/10.5465/amr.2006.21318923

Eisenhardt, K. M. (1989). Building theories from case study research. Academy of Management Review, 14(4), 532–550. https://doi.org/10.5465/amr.1989.4308385

Eisenhardt, K. M. (2021). What is the Eisenhardt Method, really? Strategic Organization, 19(1), 147–160. https://doi.org/10.1177/1476127020982866

Gawer, A. (2021). Digital platforms' boundaries: The interplay of firm scope, platform sides, and digital interfaces. Long Range Planning, 54(5), 102045. https://doi.org/10.1016/j.lrp.2020.102045

Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The circular economy – A new sustainability paradigm? Journal of Cleaner Production, 143, 757–768. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048

Gomes, L. A. V., de Faria, A. M., Braz, A. C., de Mello, A. M., Borini, F. M., & Ometto, A. R. (2023). Circular ecosystem management: Orchestrating ecosystem value proposition and configuration. International Journal of Production Economics, 256, 108725. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108725

Jacobides, M. G., Cennamo, C., & Gawer, A. (2018). Towards a theory of ecosystems. Strategic Management Journal, 39(8), 2255–2276. https://doi.org/10.1002/smj.2904

Jacobides, M. G., Cennamo, C., & Gawer, A. (2024). Externalities and complementarities in platforms and ecosystems: From structural solutions to endogenous failures. Research Policy, 53(1), 104906. https://doi.org/10.1016/j.respol.2023.104906

Kanda, W., Geissdoerfer, M., & Hjelm, O. (2021). From circular business models to circular business ecosystems. Business Strategy and the Environment, 30(6), 2814–2829. https://doi.org/10.1002/bse.2895

Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. Resources, Conservation and Recycling, 127, 221–232. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005

Kirchherr, J., Urbinati, A., & Hartley, K. (2023). Circular economy: A new research field? Journal of Industrial Ecology, 27(5), 1239–1251. https://doi.org/10.1111/jiec.13426

Locke, K., Feldman, M., & Golden-Biddle, K. (2022). Coding practices and iterativity: Beyond templates for analyzing qualitative data. Organizational Research Methods, 25(2), 262–284. https://doi.org/10.1177/1094428120948600

Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. (2026). Comunicado LR-DGR/MMA nº 001/2026: Orientações sobre a apresentação do relatório de resultados de logística reversa – ano de referência 2025. SINIR.

Ritala, P. (2024). Grand challenges and platform ecosystems: Scaling solutions for wicked ecological and societal problems. Journal of Product Innovation Management, 41(2), 168–183. https://doi.org/10.1111/jpim.12682

Trevisan, A. H., Castro, C. G., Gomes, L. A. V., & Mascarenhas, J. (2022). Unlocking the circular ecosystem concept: Evolution, current research, and future directions. Sustainable Production and Consumption, 29, 286–298. https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.10.020