


## CONTABILIDADE EM ENERGIA COMO INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO DA ECONOMIA CIRCULAR EM COOPERATIVAS DE RECICLAGEM

### EMERGY ACCOUNTING AS AN ASSESSMENT TOOL FOR CIRCULAR ECONOMY IN RECYCLING COOPERATIVES

### LA CONTABILIDAD DE EMERGENCIAS COMO HERRAMIENTA PARA LA EVALUACIÓN DE LA ECONOMÍA CIRCULAR EN LAS COOPERATIVAS DE RECICLAJE

 <https://doi.org/10.56238/arev7n12-119>

Data de submissão: 11/11/2025

Data de publicação: 11/12/2025

**Fernando Rodrigo de Souza**

Especialização em Engenharia da Qualidade Integrada e Lean Manufacturing, com formação em Engenharia de Produção, Tecnologia em Polímeros, Logística, Gestão Empresarial e Gestão da Qualidade

Instituição: Faculdade de Tecnologia de Sorocaba

E-mail: fernandorodrigosouza4@gmail.com

#### RESUMO

Este estudo avalia, por meio da contabilidade emergética, a eficiência energética e a sustentabilidade sistêmica de uma cooperativa de catadores localizada em um município de porte médio no interior do estado de São Paulo. A investigação segue um delineamento qualitativo, descritivo-exploratório, organizado a partir de um estudo de caso único. A coleta de dados combinou entrevistas semiestruturadas, análise documental e observação direta não participante. Os achados apontam para um incremento na capacidade operacional da cooperativa, associado a investimentos em infraestrutura e a práticas de gestão participativa. A síntese emergética indicou um retorno próximo a 40 vezes a energia investida, concomitante a baixo impacto ambiental e elevada eficiência no reaproveitamento dos materiais recicláveis. O índice de sustentabilidade emergética alcançou o valor de 2.687, sinalizando uma estrutura produtiva resiliente, de custos reduzidos e perfil de elevada racionalidade ecológica. No plano social, a cooperativa gerou renda para aproximadamente quarenta trabalhadores, favorecendo a inclusão socioeconômica em um contexto regional marcado por baixa formalização laboral. Esses resultados caracterizam a experiência como um modelo viável de economia circular local, com potencial replicabilidade em municípios urbanos de características análogas. Identificaram-se, porém, desafios estruturais persistentes, entre eles, a subutilização do potencial reciclável, a carência de contratos públicos estáveis e a dependência de suporte institucional. A mitigação desses entraves demanda políticas públicas consistentes que reconheçam e fortaleçam o papel estratégico das cooperativas na governança sustentável dos resíduos sólidos urbanos.

**Palavras-chave:** Energia. Economia Circular. Cooperativa de Reciclagem. Sustentabilidade. Resíduos Sólidos Urbanos.

#### ABSTRACT

This study employs emergy accounting to assess the energy efficiency and systemic sustainability of a recycling cooperative operating in a medium-sized municipality in the interior of São Paulo State, Brazil. The research adopts a qualitative, descriptive-exploratory design grounded in a single case study. Data collection integrated semi-structured interviews, document analysis, and non-participant

direct observation. The results reveal a significant expansion of the cooperative's operational capacity, driven by infrastructure investments and participatory management practices. Emergy synthesis indicated a return of nearly forty times the energy invested, accompanied by low environmental impact and high efficiency in the recovery of recyclable materials. The emergy sustainability index reached 2,687, reflecting a resilient and low-cost production arrangement characterized by substantial ecological rationality. From a social perspective, the cooperative provided income for approximately forty workers, enhancing socioeconomic inclusion in a region with limited labor formalization. Collectively, the findings present the cooperative as a viable model of local circular economy with strong potential for replication in comparable urban contexts. Nonetheless, persistent structural challenges were identified, including underutilization of the recyclable potential, absence of stable public contracting mechanisms, and dependence on institutional support. Overcoming these constraints requires robust public policies capable of recognizing and reinforcing the strategic role of cooperatives in the sustainable governance of urban solid waste.

**Keywords:** Emergy. Circular Economy. Recycling Cooperative. Sustainability. Urban Solid Waste.

## RESUMEN

Este estudio evalúa, mediante contabilidad emergética, la eficiencia energética y la sostenibilidad sistémica de una cooperativa de recicladores ubicada en un municipio de tamaño mediano del interior del estado de São Paulo. La investigación sigue un diseño cualitativo, descriptivo-exploratorio, organizado como un estudio de caso único. La recolección de datos combinó entrevistas semiestructuradas, análisis de documentos y observación directa no participante. Los hallazgos apuntan a un aumento en la capacidad operativa de la cooperativa, asociado a inversiones en infraestructura y prácticas de gestión participativa. La síntesis emergética indicó un retorno cercano a 40 veces la energía invertida, concomitante con un bajo impacto ambiental y una alta eficiencia en la reutilización de materiales reciclables. El índice de sostenibilidad emergética alcanzó un valor de 2.687, lo que indica una estructura productiva resiliente, con costos reducidos y un perfil de alta racionalidad ecológica. A nivel social, la cooperativa generó ingresos para aproximadamente cuarenta trabajadores, favoreciendo la inclusión socioeconómica en un contexto regional marcado por una baja formalización laboral. Estos resultados caracterizan la experiencia como un modelo viable de economía circular local, con potencial de replicabilidad en municipios urbanos con características similares. Sin embargo, se identificaron desafíos estructurales persistentes, como la subutilización del potencial reciclable, la falta de contratos públicos estables y la dependencia del apoyo institucional. Para mitigar estos obstáculos se requieren políticas públicas consistentes que reconozcan y fortalezcan el papel estratégico de las cooperativas en la gestión sostenible de los residuos sólidos urbanos.

**Palabras clave:** Emergia. Economía Circular. Cooperativa de Reciclaje. Sostenibilidad. Residuos Sólidos Urbanos.

## 1 INTRODUÇÃO

O aumento do consumo urbano e a ampliação contínua da geração de resíduos sólidos configuram desafios significativos para a sustentabilidade dos centros urbanos, sobretudo em nações em desenvolvimento. Historicamente, a gestão de resíduos estruturou-se sob um modelo linear baseado na extração, utilização e descarte de recursos naturais, o que intensifica pressões ambientais e aprofunda vulnerabilidades sociais. Como contraponto a essa lógica, a economia circular propõe uma mudança paradigmática orientada pela recirculação de materiais, pela redução da dependência de recursos finitos e pela promoção de sistemas produtivos mais sustentáveis (Pearce & Turner, 1990; Ellen MacArthur Foundation, 2012, 2015; Geissdoerfer, Savaget, Bocken & Hultink, 2017; Kirchherr, Reike & Hekkert, 2018).

No contexto brasileiro, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei n.º 12.305/2010) estabeleceu bases normativas para a incorporação dos princípios da economia circular ao setor de resíduos, reconhecendo as cooperativas de catadores como atores fundamentais na coleta seletiva, na recuperação de materiais recicláveis e na promoção da inclusão social de grupos historicamente marginalizados (Brasil, 2010; Silva, Ferreira, Lopes & Silva, 2020; Pisano, Demajorovic & Besen, 2022). Tais organizações, concentradas sobretudo em municípios de médio porte e periferias urbanas, desempenham uma função central na estruturação de sistemas locais de reciclagem, contribuindo para resultados positivos tanto no âmbito ambiental quanto no social.

Embora haja avanços institucionais relevantes, a mensuração da sustentabilidade das cooperativas de reciclagem ainda carece de instrumentos que integrem, de maneira coerente, suas dimensões energéticas, ecológicas e sociais. Nesse sentido, a contabilidade emergética concebida por Odum (1996) constitui um método analítico robusto, pois quantifica, em joules equivalentes solares (sej), a energia direta e indiretamente incorporada aos processos produtivos, permitindo avaliar a eficiência e a sustentabilidade sistêmica (Brown & Ulgiati, 1997; Ulgiati & Brown, 1998).

Os estudos sobre economia circular e cadeias produtivas sustentáveis enfatizam a importância da integração entre atores sociais, econômicos e institucionais para a construção de sistemas circulares mais resilientes e eficientes (Porter & Van der Linde, 1995; Seuring & Müller, 2008; Calderoni, 2003; Silvestrim, Rivas, Vieira & Santana, 2022). Apesar disso, ainda há escassez de investigações empíricas que empreguem a contabilidade emergética na análise de cooperativas de catadores, especialmente em território brasileiro.

Diante desse panorama, o objetivo geral deste estudo é examinar a eficiência emergética de uma cooperativa de catadores de materiais recicláveis localizada em um município de médio porte no interior do estado de São Paulo, analisando sua contribuição para a sustentabilidade sistêmica urbana

e para o fortalecimento da economia circular local. Os objetivos específicos incluem: (i) mapear os fluxos energéticos e materiais da cooperativa por meio da contabilidade emergética; (ii) discutir os condicionantes estruturais e institucionais que influenciam sua sustentabilidade; e (iii) apresentar recomendações que subsidiem políticas públicas voltadas ao reconhecimento e à consolidação do papel estratégico das cooperativas na gestão sustentável dos resíduos sólidos urbanos.

Ao integrar a contabilidade emergética com os princípios norteadores da economia circular, este estudo busca ampliar o debate acadêmico sobre sustentabilidade urbana, destacando a relevância das cooperativas de reciclagem como agentes promotores de transformações sociais, econômicas e ambientais nas cidades contemporâneas.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 CADEIA PRODUTIVA DA RECICLAGEM E ECONOMIA CIRCULAR**

A cadeia produtiva da reciclagem constitui um sistema articulado e dinâmico no qual materiais descartados são reinseridos como insumos produtivos, possibilitando a circulação contínua de recursos na economia. Pearce & Turner (1990) argumentam que essa dinâmica rompe com o modelo linear baseado na extração, produção, consumo e descarte, ao propor ciclos fechados em que resíduos retornam ao processo produtivo como matérias-primas, contribuindo para a redução da pressão sobre os recursos naturais.

No âmbito da economia circular, a reciclagem ocupa posição central na cadeia de valor, pois permite a ampliação do ciclo de vida dos materiais e promove maior eficiência nos sistemas produtivos, conforme ressaltado pela Ellen MacArthur Foundation (2012, 2015). Porter & Van der Linde (1995) acrescentam que a adoção de práticas ambientais, entre elas a reciclagem, pode fomentar inovação e competitividade ao integrar sustentabilidade aos objetivos estratégicos das organizações.

No caso brasileiro, Calderoni (2003) identifica perdas econômicas significativas decorrentes do descarte inadequado de materiais recicláveis e defende a reorganização da cadeia da reciclagem como estratégia capaz de diminuir desperdícios e gerar trabalho e renda. Lajolo, Azevedo & Consoni (2003) descrevem a atividade de reciclagem como um conjunto de etapas interdependentes que engloba separação na fonte, coleta, triagem, processamento e comercialização dos materiais, envolvendo cooperativas, empresas privadas, administrações públicas e consumidores.

Jacobi & Besen (2011) destacam que o desempenho da cadeia de reciclagem no Brasil está fortemente associado à atuação das cooperativas de catadores, que, além de executarem atividades de coleta e triagem, contribuem para a inclusão produtiva e mitigam a vulnerabilidade social em áreas urbanas marginalizadas. Silvestrim, Rivas, Vieira & Santana (2022) reforçam essa interpretação ao

identificarem as cooperativas como agentes essenciais para o fortalecimento da circularidade, sobretudo em municípios de médio porte.

Geissdoerfer, Savaget, Bocken & Hultink (2017) definem a economia circular como um paradigma emergente de sustentabilidade cujo êxito depende da interação entre inovação tecnológica, transformações organizacionais e mudanças culturais. Kirchherr, Reike & Hekkert (2018), ao examinarem distintas formulações conceituais sobre economia circular, evidenciam que a reciclagem constitui uma estratégia amplamente reconhecida, embora sujeita a entraves institucionais, econômicos e socioculturais que limitam sua plena implementação.

Moraga, Huysveld, Mathieux, Blengini, Alaerts, Van Acker & Dewulf (2019) apresentam indicadores de circularidade destinados a avaliar a eficiência da reciclagem na redução do uso de recursos naturais e na diminuição da geração de resíduos. Ranta, Aarikka-Stenroos, Ritala & Mäkinen (2021) ressaltam que a consolidação da economia circular depende da atuação coordenada entre diferentes atores institucionais e sociais, capazes de superar barreiras regulatórias e culturais.

Dessa forma, a cadeia produtiva da reciclagem, integrada ao marco conceitual da economia circular, configura-se como uma rede socioeconômica complexa cuja eficiência está condicionada à articulação entre políticas públicas, inovações tecnológicas e estruturas sociais. Nesse conjunto, destacam-se as cooperativas de catadores, responsáveis por atividades essenciais de coleta e reaproveitamento de materiais, promovendo simultaneamente sustentabilidade ambiental e inclusão econômica.

## 2.2 COLETA SELETIVA E SUSTENTABILIDADE URBANA NO BRASIL

A coleta seletiva representa uma etapa essencial na cadeia da reciclagem e na promoção da sustentabilidade urbana. Ela consiste na separação e no encaminhamento adequado dos resíduos pós-consumo para processos de reaproveitamento, reduzindo o volume destinado a aterros e contribuindo para a conservação de recursos naturais. No contexto brasileiro, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil, 2010) estabelece a coleta seletiva como um dos instrumentos fundamentais para a gestão integrada e sustentável dos resíduos sólidos urbanos, promovendo a responsabilidade compartilhada entre governo, setor privado e sociedade civil.

Jacobi & Besen (2011) destacam que, no Brasil, a operacionalização da coleta seletiva tem ocorrido, majoritariamente, por meio do trabalho de cooperativas e associações de catadores, que desempenham papel central na triagem e comercialização dos materiais recicláveis, além de promoverem inclusão social e geração de renda em populações urbanas vulneráveis. Lajolo, Azevedo e Consoni (2003) reforçam que a separação dos resíduos na fonte, realizada por meio da coleta

seletiva, é etapa crucial para a qualidade dos materiais recicláveis, influenciando diretamente a viabilidade econômica e ambiental da reciclagem.

Silvestrim, Rivas, Vieira & Santana (2022) evidenciam que as cooperativas de catadores atuam como protagonistas na coleta seletiva urbana, sobretudo em cidades de médio porte, onde estruturas públicas de coleta diferenciada ainda são incipientes. Esses autores apontam que, além do impacto ambiental positivo, a coleta seletiva promovida pelas cooperativas gera efeitos sociais relevantes, como a formalização do trabalho, a inclusão produtiva e o fortalecimento da economia local.

No âmbito da sustentabilidade urbana, Ellen MacArthur Foundation (2012, 2015) aponta que a coleta seletiva é um elemento-chave para a transição para cidades circulares, nas quais os fluxos de materiais são mantidos em uso pelo maior tempo possível. Geissdoerfer, Savaget, Bocken & Hultink (2017) complementam que a eficácia da economia circular em ambientes urbanos depende de estratégias como a coleta seletiva, que promovem a redução da extração de recursos primários e o fechamento dos ciclos materiais.

Apesar dos avanços legais e institucionais, a coleta seletiva enfrenta desafios no Brasil, como a baixa adesão da população, a carência de infraestrutura adequada e a fragmentação das iniciativas entre diferentes esferas governamentais (Pisano, Demajorovic & Besen, 2022). Superar esses desafios requer investimentos em educação ambiental, fortalecimento das cooperativas e integração entre os diversos agentes envolvidos na gestão dos resíduos sólidos urbanos.

Dessa forma, a coleta seletiva no Brasil se configura como um instrumento fundamental para a sustentabilidade urbana, ao articular benefícios ambientais, sociais e econômicos, especialmente quando integrada à atuação das cooperativas de catadores, que ampliam sua relevância na transição para a economia circular.

## 2.3 CONTABILIDADE EMERGÉTICA E AVALIAÇÃO SISTÊMICA

A coleta seletiva constitui uma etapa fundamental na cadeia da reciclagem e desempenha papel estratégico na promoção da sustentabilidade urbana. Esse processo compreende a separação, na fonte geradora, dos resíduos pós-consumo, seguida de seu encaminhamento para rotas adequadas de reaproveitamento. Tal dinâmica reduz significativamente o volume de materiais destinados a aterros sanitários e contribui para a conservação dos recursos naturais, ao mesmo tempo em que promove maior eficiência no gerenciamento dos resíduos sólidos. No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei nº 12.305 de 2010, estabelece a coleta seletiva como um dos instrumentos estruturantes da gestão integrada e sustentável dos resíduos urbanos. A norma adota o princípio da



responsabilidade compartilhada, que distribui deveres entre poder público, iniciativa privada e sociedade civil, reconhecendo o caráter sistêmico da gestão de resíduos (Brasil, 2010).

Jacobi & Besen (2011) salientam que, no contexto brasileiro, a operacionalização da coleta seletiva tem ocorrido, predominantemente, por intermédio do trabalho desenvolvido por cooperativas e associações de catadores. Essas organizações, além de assumirem atividades essenciais de triagem e comercialização dos materiais recicláveis, cumprem função relevante na inclusão produtiva e na geração de renda de populações urbanas socialmente vulneráveis. A literatura aponta que essa forma de organização do trabalho amplia a autonomia dos catadores, melhora suas condições laborais e fortalece sua atuação em redes sociais e produtivas. A importância da separação dos resíduos na fonte, elemento central da coleta seletiva, é reforçada por Lajolo, Azevedo & Consoni (2003), que demonstram sua influência direta na qualidade final dos materiais destinados à reciclagem. A eficiência ambiental e econômica dos processos de reaproveitamento depende, portanto, da correta segregação inicial, etapa que condiciona todo o desempenho subsequente da cadeia produtiva.

Estudos recentes, como os de Silvestrim, Rivas, Vieira & Santana (2022), destacam que cooperativas de catadores têm se consolidado como protagonistas na coleta seletiva de cidades de médio porte, onde estruturas públicas de coleta diferenciada ainda se encontram em desenvolvimento. De acordo com esses autores, o trabalho desempenhado pelas cooperativas ultrapassa a dimensão ambiental, pois gera efeitos sociais relevantes, como a formalização de vínculos de trabalho, a promoção da inclusão produtiva e o fortalecimento das economias locais. A literatura nacional, representada por Calderoni (2003), evidencia ainda que o descarte inadequado de materiais recicláveis gera perdas econômicas significativas, reforçando a necessidade de fortalecer a cadeia da reciclagem como estratégia para redução de desperdícios, criação de empregos e incremento da renda.

No campo mais amplo da sustentabilidade urbana, a Ellen MacArthur Foundation (2012, 2015) identifica a coleta seletiva como um elemento central na transição para cidades estruturadas sob os princípios da economia circular, nas quais os fluxos materiais são mantidos em uso pelo maior tempo possível. A perspectiva internacional sobre economia circular, sintetizada por Geissdoerfer, Savaget, Bocken & Hultink (2017), destaca que a eficácia dessa abordagem em ambientes urbanos depende de estratégias como a coleta seletiva, capazes de reduzir a extração de recursos primários e favorecer ciclos materiais mais eficientes. Kirchherr, Reike & Hekkert (2018), ao analisarem um amplo conjunto de definições de economia circular, reforçam que a coleta seletiva constitui uma das estratégias mais comuns, embora sua plena implementação ainda seja limitada por fatores institucionais, econômicos e socioculturais.

Além disso, estudos que analisam indicadores de circularidade, como os de Moraga, Huysveld, Mathieux, Blengini, Alaerts, Van Acker, de Meester & Dewulf (2019), demonstram que a coleta seletiva é variável central na mensuração da capacidade dos sistemas urbanos de reduzir o consumo de recursos naturais e a geração de resíduos. A dimensão institucional também é ressaltada por Ranta, Aarikka-Stenroos, Ritala & Mäkinen (2021), que argumentam que a consolidação da economia circular exige a ação coordenada de atores sociais e institucionais para superar barreiras regulatórias e culturais que dificultam a internalização de práticas circulares em escala urbana.

Apesar dos avanços legais e institucionais, a coleta seletiva no Brasil enfrenta desafios significativos, tais como a limitada adesão da população, a insuficiência de infraestrutura adequada e a fragmentação das iniciativas entre diferentes esferas governamentais. Pisano, Demajorovic & Besen (2022) ressaltam que essas lacunas dificultam a consolidação de sistemas de gestão de resíduos alinhados à economia circular e fragilizam o papel de cooperativas e catadores na cadeia produtiva. A superação desses desafios requer investimentos consistentes em educação ambiental, iniciativas permanentes de sensibilização da população, fortalecimento das cooperativas e maior integração entre os agentes envolvidos na gestão dos resíduos, aspectos amplamente discutidos por autores como Seuring & Müller (2008), que enfatizam a relevância da coordenação entre atores nas cadeias produtivas sustentáveis.

Dessa forma, a coleta seletiva no Brasil se configura como um instrumento essencial para a sustentabilidade urbana, articulando benefícios ambientais, sociais e econômicos. Sua eficácia é ampliada quando associada à atuação das cooperativas de catadores, cuja presença fortalece o potencial da economia circular ao integrar práticas de reaproveitamento de materiais com inclusão social e desenvolvimento territorial.

### **3 METODOLOGIA**

Este estudo adota uma abordagem qualitativa de caráter descritivo e exploratório, organizada com base em um estudo de caso único. A escolha dessa estratégia metodológica fundamenta-se na necessidade de examinar em profundidade o funcionamento e a dinâmica energética de uma cooperativa de catadores de materiais recicláveis em seu ambiente natural, em consonância com os pressupostos apresentados por Yin (2018) e Creswell & Creswell (2018). Essa perspectiva mostra-se especialmente adequada para investigações que buscam compreender fenômenos contemporâneos, como a aplicação da síntese em emergência no contexto da gestão de resíduos sólidos urbanos.

A coleta dos dados primários foi conduzida por meio de entrevistas semiestruturadas, análise documental e observação direta não participante. As entrevistas foram direcionadas a diferentes atores



envolvidos nas atividades da cooperativa, incluindo coordenadores, associados e profissionais responsáveis por apoio técnico. Todos os procedimentos adotados seguiram os princípios éticos aplicáveis à pesquisa com seres humanos, assegurando o consentimento livre e esclarecido, a confidencialidade das informações e o anonimato dos participantes, de acordo com as diretrizes sistematizadas por Minayo (2012, 2015, 2017).

A fase de análise documental abrangeu legislações federais e municipais pertinentes à gestão de resíduos sólidos, planos de gestão integrada, assim como documentos institucionais da cooperativa, incluindo relatórios operacionais, registros de entrada e saída de materiais, planilhas de produção e demonstrativos financeiros. Essa etapa foi conduzida segundo o referencial metodológico proposto por Cellard (2008), visando contextualizar a atuação da cooperativa no marco normativo e institucional vigente e fornecer subsídios empíricos para a identificação dos fluxos de energia e dos recursos empregados no sistema analisado.

A observação direta não participante foi utilizada como técnica complementar para registrar de forma sistemática as rotinas operacionais, a organização espacial do ambiente de trabalho, o uso dos equipamentos e as interações entre os cooperados. Essa técnica, fundamentada nas orientações de Flick (2014), permitiu identificar *in loco* os principais fluxos materiais e energéticos envolvidos no cotidiano da cooperativa, contribuindo para uma compreensão empírica ampliada das atividades desenvolvidas.

O tratamento e a interpretação dos dados coletados foram realizados por meio da análise de conteúdo, conforme o método estruturado por Bardin (2011). Essa etapa envolveu as seguintes fases: a pré-análise, que consistiu na leitura flutuante dos materiais e na organização inicial das evidências; a exploração do conteúdo, operacionalizada por meio da codificação temática destinada a identificar elementos centrais à elaboração da síntese em energia; e a interpretação dos resultados, orientada pelo referencial teórico adotado e voltada à avaliação da sustentabilidade e da eficiência energética do sistema estudado.

A triangulação metodológica, incorporando entrevistas, documentos e observação direta, foi empregada com o propósito de assegurar a consistência interna da pesquisa e promover a validação cruzada dos dados, conforme argumentado por Denzin (2018). Essa estratégia fortaleceu a robustez analítica do estudo e possibilitou uma compreensão integrada dos fluxos de energia e de recursos que estruturam o funcionamento da cooperativa.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Situada a cerca de 220 quilômetros da capital paulista, em um município de médio porte caracterizado por economia mista baseada em agropecuária, serviços e pequenas indústrias, uma cooperativa de catadores consolidou-se como um sistema exemplar de gestão de resíduos sólidos urbanos, destacando-se pela integração entre inclusão social, eficiência técnica e sustentabilidade ambiental. Os principais indicadores operacionais, energéticos e sociais da cooperativa em 2023 são apresentados na Tabela 1, sintetizando os resultados quantitativos obtidos no período analisado.

Tabela 1 Indicadores Operacionais, Energéticos e Sociais da Cooperativa de Reciclagem em 2023

Indicador	Valor estimado	Unidade de medida	Observações
Volume médio mensal processado	120	Toneladas	Total de recicláveis triados mensalmente
Aumento da capacidade operacional em relação ao ano anterior	33,3	%	Comparado ao volume médio de 90 toneladas em 2022
Tempo médio de processamento reduzido	-28	%	Redução devido à aquisição de novas prensas e balanças
Taxa de recuperação sobre o total de resíduos coletados no município	13,94	%	Percentual superior à média de municípios similares
Potencial reciclável do município	305,7	Toneladas/mês	Estimativa baseada em dados municipais
Aproveitamento do potencial reciclável	23	%	Mais de 230 toneladas mensais ainda não reaproveitadas
Energia total recuperada	$3,024 \times 10^{18}$	sej/ano	Energia incorporada nos materiais reciclados
Energia total investida	$7,5 \times 10^{16}$	sej/ano	Inclui energia elétrica, combustíveis e trabalho humano
Rendimento emergético (EYR)	40	Razão	Relação entre energia recuperada e energia investida
Razão de carga ambiental (ELR)	0,015	Razão	Baixa pressão sobre ecossistemas
Índice de sustentabilidade emergética (ESI)	2.687	Sem dimensão	Elevado equilíbrio entre produtividade e impacto ambiental
Número médio de cooperados ativos	36 a 37	Pessoas	Variação ao longo do ano
Remuneração média mensal por cooperado	1.300	Reais (R\$)	Geração de renda formal em contexto de baixa empregabilidade
Custo médio operacional mensal	31.000	Reais (R\$)	Inclui energia elétrica, manutenção e logística
Principais materiais processados	Papel, plástico, metais, frações mistas	-	Composição média dos recicláveis
Equipamentos adquiridos	3 prensas hidráulicas, balanças	-	Responsáveis pela ampliação da eficiência operacional

	eletrônicas, veículos		
Tipo de energia predominante utilizada	Renovável e trabalho humano predominante	-	Reduz impacto ambiental
Participação da cooperativa na coleta seletiva municipal	Relevante	Qualitativo	Papel central na gestão local de resíduos recicláveis

Fonte: Elaborada pelo autor.

Ao longo do período analisado, o volume médio mensal de materiais recicláveis processados aumentou de 90 para 120 toneladas, o que corresponde a um acréscimo de 33,3% na capacidade operacional da cooperativa. Esse avanço foi viabilizado pela expansão da infraestrutura física, que incluiu a aquisição de prensas hidráulicas de alta compactação, balanças eletrônicas e veículos próprios para transporte. A incorporação desses equipamentos possibilitou uma redução aproximada de 28% no tempo necessário para o processamento dos resíduos e elevou substancialmente a eficiência das etapas de triagem e acondicionamento. A taxa de recuperação dos resíduos coletados no município alcançou 13,94%, valor superior às médias registradas em áreas urbanas com características semelhantes, evidenciando a eficácia do modelo adotado pela organização.

A avaliação apoiada na contabilidade emergética, abordagem que permite mensurar a eficiência de sistemas produtivos ao considerar a energia solar indireta incorporada aos fluxos de materiais e serviços, foi aplicada para qualificar o desempenho sistêmico da cooperativa. Com base na composição média dos resíduos recicláveis processados, majoritariamente constituídos por papel, plástico, metais e frações mistas, e considerando os valores de transformidade específicos para cada categoria de material, estimou-se que a energia total recuperada alcançou aproximadamente  $3,024 \times 10^{18}$  sej por ano. Esse montante representa a energia acumulada nos materiais que retornaram ao ciclo produtivo por meio da reciclagem, evitando a extração de recursos primários e mitigando impactos ambientais associados a essa atividade.

A energia investida no sistema foi estimada a partir da soma de insumos diretos e indiretos, entre os quais se incluem o consumo de energia elétrica nas instalações, o uso de combustíveis nos processos de coleta e transporte, a energia incorporada aos equipamentos e à infraestrutura operacional e o trabalho humano desempenhado pelos cooperados. O conjunto desses componentes totalizou cerca de  $7,5 \times 10^{16}$  sej por ano. O rendimento emergético resultante foi de aproximadamente 40, indicando que, para cada unidade de energia investida, a cooperativa devolveu 40 unidades na forma de materiais reaproveitados. Esse indicador expressa um patamar elevado de eficiência, sobretudo considerando as restrições financeiras e logísticas enfrentadas pela organização.

A razão de carga ambiental, calculada com base na relação entre insumos não renováveis e renováveis utilizados no sistema, foi estimada em 0,015. Esse valor reduzido aponta para uma baixa pressão exercida sobre os ecossistemas, aspecto decorrente principalmente da predominância do trabalho humano e do emprego de fontes renováveis de energia em parte significativa das operações. A partir desse indicador e do rendimento emergético, foi calculado o índice de sustentabilidade emergética, que atingiu o valor de 2.687. Esse resultado demonstra que o sistema em estudo apresenta elevada capacidade de gerar benefícios ambientais e sociais a partir de um conjunto restrito de insumos, revelando uma interação equilibrada entre produtividade, conservação de recursos e estabilidade operacional.

No âmbito econômico e social, a atividade da cooperativa envolveu a participação de 36 a 37 trabalhadores cooperados, cuja remuneração média mensal situou-se em torno de R\$ 1.300. Embora esse valor ainda esteja abaixo das médias formais do mercado de trabalho urbano, ele configura uma alternativa contínua e relativamente estável de geração de renda em um território marcado pela escassez de oportunidades ocupacionais formais. A operação da cooperativa foi conduzida com um custo médio aproximado de R\$ 31 mil por mês, revelando a viabilidade de um modelo autossustentável estruturado em baixos custos fixos, práticas de gestão participativa e forte engajamento comunitário.

Apesar dos resultados positivos, os dados revelam também limitações importantes. A taxa de reaproveitamento, quando comparada ao potencial reciclável municipal estimado em 305,7 toneladas mensais, atingiu cerca de 23%. Isso significa que mais de 230 toneladas por mês, ainda dotadas de valor energético e econômico, continuaram sendo destinadas a aterros. A persistência dessa lacuna indica a existência de barreiras logísticas, ausência de mecanismos mais eficazes de captação de resíduos e limites operacionais que ainda não foram totalmente superados. Ademais, a dependência de apoio institucional externo e a falta de um marco contratual estável com o poder público representam fatores que podem comprometer a continuidade e a ampliação dos avanços já obtidos.

A análise integrada das dimensões operacionais, energéticas e sociais do sistema evidencia que a experiência analisada configura um modelo eficiente, resiliente e socialmente inclusivo de gestão de resíduos sólidos urbanos. Trata-se de uma estrutura que articula racionalidade técnica, valorização do trabalho coletivo e redução da pressão sobre os recursos naturais, contribuindo para a consolidação de uma economia circular territorializada e caracterizada por baixo impacto ambiental.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados alcançados evidenciam um desempenho notavelmente eficiente sob as dimensões energética, sistêmica e social do modelo cooperativo analisado. A partir dos dados empíricos, constatou-se que o sistema opera com indicadores de sustentabilidade expressivos, entre os quais se destacam a razão de retorno emergético de 40 e um índice de sustentabilidade superior a 2.600. Esses parâmetros confirmam a capacidade do arranjo produtivo de reinserir energia de elevada qualidade no ciclo econômico, exercendo pressão reduzida sobre os insumos não renováveis e contribuindo para a mitigação dos impactos ambientais associados ao manejo inadequado de resíduos.

A recuperação média de cerca de 120 toneladas mensais de materiais recicláveis representa, simultaneamente, uma redução considerável do volume de resíduos destinados a aterros sanitários e um processo de revalorização de matérias-primas secundárias. Essa dinâmica reforça o potencial da reciclagem enquanto instrumento de fechamento de ciclos materiais, alinhado às premissas da economia circular. Além disso, a reintrodução contínua desses materiais no sistema produtivo evidencia a importância da cooperativa como agente de conversão de fluxos dissipados em recursos de utilidade econômica e ambiental.

No âmbito social, os resultados demonstram consonância com os princípios da sustentabilidade inclusiva. A remuneração regular destinada aos cooperados, embora ainda modesta quando comparada aos padrões formais do mercado de trabalho, constitui elemento estruturante na valorização das atividades desempenhadas e na consolidação de formas de organização coletiva. Tal condição contribui para o fortalecimento da autonomia dos trabalhadores, para a construção de identidades sociais vinculadas à proteção ambiental e para a ampliação das oportunidades de inserção socioprodutiva. A existência de um centro de educação ambiental coordenado pela própria cooperativa amplia esses efeitos, favorecendo a disseminação de valores ecológicos e estimulando a participação comunitária nos programas de coleta seletiva.

Mesmo diante dos avanços identificados, persistem desafios que limitam a expansão e o aperfeiçoamento do sistema. Entre os entraves observados, destaca-se a subexploração do potencial reciclável existente no território, que resulta na continuidade do descarte de uma parcela significativa de materiais com valor econômico e energético. Somam-se a esse cenário a dependência de parcerias institucionais externas e a inexistência de contratos públicos estáveis, fatores que comprometem a previsibilidade operacional e colocam em risco a continuidade das ações desenvolvidas. Esses limites evidenciam a necessidade de políticas públicas mais estruturadas, capazes de garantir suporte técnico permanente, mecanismos de financiamento adequados e marcos legais que assegurem a atuação das cooperativas como protagonistas na gestão dos resíduos sólidos urbanos.

O caso examinado materializa uma experiência concreta de transição para um modelo territorializado de economia circular, caracterizado por baixa complexidade tecnológica e elevada eficácia sistêmica. A articulação entre racionalidade emergética, inclusão socioprodutiva e engajamento comunitário sustenta um arranjo organizacional que se mostra exemplar especialmente para municípios de médio e pequeno porte. A possibilidade de replicação do modelo depende, contudo, da consolidação de ambientes institucionais favoráveis, do fortalecimento de instrumentos regulatórios e do reconhecimento explícito do papel central desempenhado pelas cooperativas na construção de cidades mais sustentáveis, resilientes e socialmente equitativas.



## REFERÊNCIAS

- Bardin, L. (2011). *Análise de conteúdo* (4ª ed.). Edições 70.
- Brasil. (2010). Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. *Diário Oficial da União*. Recuperado em 04 de julho de 2025, de [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm)
- Brown, M. T., & Ulgiati, S. (1997). Emergy-based indices and ratios to evaluate sustainability: Monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation. *Ecological Engineering*, 9 (1–2), 51–69. [https://doi.org/10.1016/s0925-8574\(97\)00033-5](https://doi.org/10.1016/s0925-8574(97)00033-5)
- Calderoni, S. (2003). *Os bilhões perdidos no lixo*. SENAC.
- Cellard, A. (2008). A análise documental. In J. Poupart (Org.), *A pesquisa qualitativa: Enfoques epistemológicos e metodológicos* (pp. 295–316). Vozes.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th ed.). SAGE Publications.
- Denzin, N. K. (2018). *The research act: A theoretical introduction to sociological methods* (4ª ed.). Routledge.
- Ellen MacArthur Foundation, & Sun, M., & McKinsey Center for Business and Environment. (2015). *Growth within: A circular economy vision for a competitive Europe*. Ellen MacArthur Foundation/SYSTEMIQ. Recuperado em 18 de junho de 2025, de <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/building-prosperity>
- Ellen MacArthur Foundation. (2012). *Towards the circular economy – Vol. 1: An economic and business rationale for an accelerated transition*. Recuperado em 18 de junho de 2025, de <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/towards-the-circular-economy-vol-1-an-economic-and-business-rationale-for-an>
- Flick, U. (2014). *Introdução à pesquisa qualitativa* (3ª ed.). Artmed.
- 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>
- Giannetti, B. F., & Almeida, C. M. (2006). *Ecologia industrial: Conceitos, ferramentas e aplicações*. Editora Blucher.
- Giannetti, B. F., Barrella, F. A., & Almeida, C. M. V. B. (2006). A combined tool for environmental scientists and decision makers: Ternary diagrams and emergy accounting. *Journal of Cleaner Production*, 14(2), 201–210. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2004.09.002>
- Giannetti, B. F., Bonilla, S. H., & Almeida, C. M. V. B. (2013). An emergy-based evaluation of a reverse logistics network for steel recycling. *Journal of Cleaner Production*, 46, 48–57. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.05.024>

Jacobi, P. R., & Besen, G. R. (2011). Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. *Estudos Avançados*, 25(71), 135–158. <https://doi.org/10.1590/s0103-40142011000100010>

Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2018). 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>

Lajolo, R. D., Azevedo, R. M. B., & Consoni, A. J. (2003). *Cooperativa de catadores de materiais recicláveis: Guia de implantação* (1ª ed., Vol. 1). Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT.

Minayo, M. C. S. (2012). *Análise qualitativa: Teoria, passos e fidedignidade*. *Ciência & Saúde Coletiva*, 17(3), 621–626. <https://doi.org/10.1590/S1413-81232012000300007>

Minayo, M. C. S. (2015). *O desafio do conhecimento: Pesquisa qualitativa em saúde* (13ª ed.). Hucitec.

Minayo, M. C. S. (2017). *A prática da pesquisa qualitativa* (3ª ed.). Vozes.

Moraga, G., Huysveld, S., Mathieux, F., Blengini, G. A., Alaerts, L., Van Acker, K., de Meester, S., & Dewulf, J. (2019). Circular economy indicators: What do they measure? *Resources, Conservation, and Recycling*, 146, 452–461. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.03.045>

Odum, H. T. (1996). *Environmental accounting: Emergy and environmental decision making*. John Wiley & Sons.

Pearce, D. W., & Turner, R. K. (1990). *Economics of natural resources and the environment*. Harvester Wheatsheaf.

Pisano, V., Demajorovic, J., & Besen, G. R. (2022). The Brazilian National Solid Waste Policy: perspectives of the waste pickers' cooperative networks. *Ambiente & sociedade*, 25, e01511. <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20210151r1ft>

Porter, M. E., & Van der Linde, C. (1995). Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship. *Journal of Economic Perspectives*, 9(4), 97–118. <https://doi.org/10.1257/jep.9.4.97>

Ranta, V., Aarikka-Stenroos, L., Ritala, P., & Mäkinen, S. J. (2021). Exploring institutional drivers and barriers of the circular economy: A cross-regional comparison. *Resources, Conservation and Recycling*, 168, 105249. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105249>

Seuring, S., & Müller, M. (2008). From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. *Journal of Cleaner Production*, 16(15), 1699–1710. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.04.020>

Ulgati, S., & Brown, M. T. (1998). Monitoring patterns of sustainability in natural and man-made ecosystems. *Ecological Modelling*, 108(1–3), 23–36. [https://doi.org/10.1016/s0304-3800\(98\)00016-7](https://doi.org/10.1016/s0304-3800(98)00016-7)

Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: Design and methods* (6th ed.). SAGE Publications.