

UMA RSL SOBRE AS CARACTERÍSTICAS DA SIMBIOSE INDUSTRIAL

1 INTRODUÇÃO

Desde a Revolução Industrial, o avanço da urbanização e industrialização resultou em degradação ambiental e crescente crise ecológica (Levai, 2011). Entre os principais agravantes, destaca-se a poluição decorrente do descarte inadequado de resíduos sólidos, que, quando depositados em lixões ou aterros irregulares, geram riscos à saúde pública e perda de recursos naturais (Figueiredo, 2023). A poluição das águas urbanas pelo esgoto não tratado agrava o cenário, sendo fruto da gestão inadequada dos resíduos oriundos de atividades industriais, agrícolas e domiciliares (Da Silva e Brito, 2021).

Diante desse contexto, surge a Economia Circular (EC) como alternativa ao modelo linear, ao priorizar insumos duráveis, recicláveis e renováveis, buscando manter o fluxo de recursos por meio da retenção e regeneração de valor (ISO 59004). Um desdobramento dessa economia é a Simbiose Industrial (SI), que promove cooperação entre empresas para o aproveitamento mútuo de resíduos, energia e recursos (Bocken et al., 2014). Essa abordagem propõe novas formas de produção e consumo, reduzindo desperdícios (Faria, 2022).

Assim, torna-se essencial repensar as lógicas produtivas, incorporando estratégias que favoreçam a circularidade e a cooperação. Nesse cenário, a SI emerge como alternativa viável e estratégica. Dessa forma, a pesquisa se orienta pela seguinte questão: Quais são as características da Simbiose Industrial? A resposta a essa questão é crucial para consolidar a SI como elemento-chave na transição para economias mais circulares, resilientes e colaborativas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Economia Circular: Princípios, Aplicações e sua Relação com a SI

Segundo Tiozzi e Simon (2021), empresas, governos e as pessoas em geral estão buscando cada vez mais deixar para as próximas gerações um planeta melhor, tratando com mais respeito os recursos de forma a garantir que possam ser usados no futuro, visto que, o atual modelo econômico linear de produção está chegando ao seu limite. Isso porque, a geração de valor linear não leva em consideração que os recursos materiais e energéticos são finitos (Gonçalves e Barroso, 2019). Diante disso, a EC surge com o objetivo de oferecer uma alternativa ao modelo linear de produção, e estabelecer um novo paradigma de sustentabilidade (Vier, 2021).

Apesar do que é imaginado, as discussões sobre EC não são recentes, sendo um tema que vem sendo discutido por diversas escolas de pensamento desde meados de 1970 (Fontenele, 2023), tendo maior repercussão com a publicação do artigo intitulado “The Economics of the Coming Spaceship Earth”, do economista norte-americano Kenneth Boulding, apresentado no Fórum sobre o Futuro e Qualidade Ambiental em Economia Crescente, em Washington, em 1966, onde o autor utiliza a metáfora do planeta Terra como uma nave espacial, como explicação para o modelo econômico atual, além da relação com o meio ambiente, seus impactos e a crise ambiental moderna (De Assunção, 2019; Spash, 2013).

Segundo Gonçalves e Barroso (2019), o modelo econômico de produção circular propõe a regeneração do valor do capital e não apenas a extração desse valor, ou seja, o equilíbrio entre economia e meio ambiente, buscando a eficiência e a eficácia de todo o sistema produtivo, porém na pesquisa, ressaltam que a proposta desse modelo não está ligada somente a redução de custo ou a diminuição da competitividade entre as empresas, mas na geração de valor, além de propor que o valor dos recursos extraídos e produzidos sejam mantidos em circulação por meio de cadeias produtivas integradas (Sehnm e Pereira, 2019).

É notável que a EC representa um campo fértil para o avanço do conhecimento e a busca por soluções para desafios ambientais e econômicos contemporâneos (Duarte et al., 2023), além de desempenhar um papel crucial na busca por um futuro mais sustentável. Suas implicações abrangem diversos setores e níveis de atuação, exigindo ação de todos os níveis: desde acordos internacionais, assinados pelo maior número possível de países, até ao comportamento individual dos consumidores. Para isso acontecer, é necessário estratégias relacionadas ao conceito de EC, como por exemplo a SI, onde a expressão “simbiose” baseia-se na noção de relações simbióticas biológicas na natureza, nas quais pelo menos duas espécies não relacionadas trocam entre si (Chertow, 2000).

2.2 Simbiose Industrial

A SI é um conceito que visa aprimorar o desempenho ambiental, social e econômico das indústrias por meio da trocas de produtos, resíduos e insumos (Motta, 2013). Nesse modelo de colaboração mútua, as empresas otimizam recursos e reduzem impactos negativos, seguindo a conhecida abordagem dos 3Rs: Reduzir, Reutilizar e Reciclar (Coelho, 2018). Na prática, a SI permite que os materiais partam de uma indústria onde não foram completamente utilizados, para outras como matérias-primas ou insumos (Da Cruz e Moraes, 2023), contribuindo para a redução do desperdício e a otimização do uso de recursos, podendo ser descrita, de modo geral, como precursora nos fechamentos de ciclos de produção, (De Macedo Ferreira, Dos Santos e Da Silva, 2021) além de conseguir reduzi-lo e reciclá-lo.

Além disso, a implementação da SI enfrenta barreiras de ordem econômica, legislativa, regulatória, técnica, organizacional e informacional, que se configuram como os principais desafios a serem considerados (Harris, 2004). Para superá-las, a literatura tem direcionado atenção à compreensão do processo emergente da SI, analisando fatores facilitadores e obstáculos, bem como a promoção de redes colaborativas e a criação de modelos de negócios associados (Fabris, Sabbadini e Costa, 2022). No entanto, ainda é imprescindível avançar na identificação de ações concretas que possibilitem superar esses diferentes níveis de barreiras e viabilizar a implementação prática da SI de maneira estruturada e simplificada (Azevedo et al., 2021).

Muitos dos custos e benefícios da SI recaem primeiro sobre os intervenientes privados e, posteriormente, sobre a comunidade em geral. O desafio está em garantir que os intervenientes privados possam se apropriar de benefícios suficientes dos ganhos ambientais proporcionados pela SI. Na prática, todos os projetos de desenvolvimento significativos exigem tempo e esforço. Isso é mais agravado nos projetos de parques eco industriais devido à necessidade de planejamento e coordenação multipartidários, bem como aos custos associados às transações (Chertow, 2000). Ademais, explicar a SI, especialmente seu componente educativo, é um desafio em si. Isso ocorre porque a SI não segue o modelo tradicional de negócios e requer uma mudança significativa nos modelos mentais individualistas dominantes.

É concebível que o setor privado possa abraçar a SI como uma extensão lógica da produtividade dos recursos, visto que acaba gerando vantagem competitiva a nível econômico, ambiental e social (Pinheiro et al., 2020). Além disso, os governos poderiam considerar a adesão aos parques eco industriais como uma maneira de revitalizar áreas industriais abandonadas, onde os papéis dos diversos intervenientes públicos e privados seriam definidos ao longo do tempo. É evidente que a SI também pode evoluir em direções que hoje sequer podemos imaginar. Nas últimas décadas, tornou-se inaceitável poluir de maneira aberta e agressiva em muitas partes do mundo; daqui a 30 anos, talvez seja igualmente impensável utilizar um recurso apenas uma vez.

2.3 Características da Simbiose Industrial

Entre as práticas da SI identificadas, destaca-se a troca de materiais, como sobras de metais e plásticos, que podem se tornar oportunidades para novas cadeias produtivas (Miyamoto, Costa e Candiani, 2022). Outra prática recorrente é a otimização de sistemas, envolvendo logística reversa, gestão de resíduos e melhoria contínua, que favorece colaboração entre empresas, redução de custos e ganhos de competitividade (Bail et al., 2016). A SI também contribui para a qualificação de serviços, extrapolando o setor industrial e alcançando áreas como gestão urbana, agricultura familiar e construção civil, promovendo maior equilíbrio ambiental e social (Herzer et al., 2020). Além disso, a criação de parques tecnológicos fortalece redes colaborativas e ecossistemas industriais mais integrados, estimulando a adoção de modelos circulares (Faria, 2022).

Todas as práticas encontradas na literatura foram sistematizadas no Quadro 1, que evidencia a diversidade de aplicações do conceito, desde a troca de materiais até iniciativas em serviços e tecnologia, ressaltando sua relevância como modelo organizacional inovador, adaptável e orientado à sustentabilidade.

Quadro 1: Características da SI encontradas na literatura

AUTORIA	CARACTERÍSTICA
Miyamoto, Costa e Candiani (2022)	Troca de materiais, detectando os tipos de resíduos gerados que podem ser reaproveitados entre as empresas estudadas
Faria (2022)	Interação entre diferentes atores do ecossistema tecnológico, investigando como as organizações podem evoluir de clusters (agrupamentos geográficos de empresas) para ecossistemas industriais mais amplos, como parques tecnológicos, sempre enfatizando a importância de adotar um modelo circular de produção .
Herzer et al. (2020)	Contribuição para benefícios ambientais, sociais e econômicos em diversos setores produtivos.
Herzer et al. (2020)	Qualificação de serviços , fundamentado que a SI não se limita apenas à produção industrial, podendo ser aplicada em modelos de gestão urbana, agricultura familiar e até mesmo na construção civil, portanto, contribuindo para a qualificação de serviços em diversos setores, promovendo um sistema produtivo mais sustentável e equilibrado.
Boons et al. (2017)	Construto fundamental para o desenvolvimento de modelos sustentáveis .
Bail, Kovaleski, Resende e Pagani (2016)	Otimização de sistemas , atestando que as empresas podem oferecer produtos e serviços de qualidade, otimizando sistemas de logística reversa, gerenciando corretamente os resíduos e promovendo a melhoria contínua.
Bail, Kovaleski, Resende e Pagani (2016)	Redução de custos e minimização dos impactos ambientais , e maior vantagem competitiva no mercado.
Costa e Ferrão (2010)	Contribuições relevantes para os sistemas industriais que desejam se tornar sustentáveis, implementado características dos ecossistemas naturais, tais como conectividade, comunidade e cooperação para as empresas .
Chertow (2000)	Colaboração e as possibilidades sinérgicas proporcionadas pela proximidade geográfica entre as organizações interessadas.
Chertow (2000)	Troca de materiais, resíduos e serviços , otimizando seus processos, ocasionando na redução do impacto ambiental, representando um passo importante em direção a um modelo econômico mais circular e consciente.

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Diante das práticas identificadas, evidencia-se que a SI não se restringe à simples troca de resíduos entre empresas, mas representa uma estratégia abrangente de reestruturação

dos sistemas produtivos com base na cooperação, na circularidade e na sustentabilidade (Chertow, 2000; Costa e Ferrão, 2010). As experiências relatadas na literatura reforçam o potencial transformador da SI na promoção de cadeias produtivas mais integradas, eficientes e ambientalmente responsáveis (Faria, 2022; Henzer et al., 2020). Ao incorporar princípios da ecologia industrial, a SI se consolida como uma ferramenta fundamental para viabilizar a transição para um modelo econômico circular.

3 METODOLOGIA

A presente pesquisa procurou desenvolver uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) sobre as características de SI encontradas na literatura. Para isso, optou-se pelo uso de um estudo qualitativo, que conforme Godoy (1995), não procura enumerar e/ou medir os eventos estudados, nem emprega instrumental estatístico, permitindo uma coleta de dados mais rica em experiências individuais, proporcionando informações detalhadas e específicas para esta pesquisa.

Foram definidas como bases de pesquisa as bases Scopus e Web of Science, considerando-se os tipos de documentos Journal, Article, Conference Papers e Reviews, e o período de publicação dos artigos a partir do ano de 2014 até 2024 para abrangência dos estudos mais novos na literatura. Ademais, como critérios de inclusão utilizados na seleção dos artigos foram: (i) utilização dos termos “Características da Simbiose Industrial” e “Simbiose Industrial” para as buscas dos estudos; (ii) pesquisas realizadas com o período específico de 10 anos; (iii) e apenas artigos com acesso aberto. Diante disso, foram selecionados 30 estudos, porém foram isolados estudos não relacionados, redundantes e irrelevantes com os seguintes critérios de exclusão: (i) artigos duplicados; e (ii) artigos que possuíam a mesma distinção das características, visto que, a maioria dos estudos encontrados faziam referência a características específicas já selecionadas. Por fim, os artigos selecionados foram comparados para diminuir dúvidas existentes, sendo selecionados 7 artigos relevantes para a pesquisa.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A análise dos dados revelou um conjunto de características que consolidam a Simbiose Industrial (SI) como estratégia central para a sustentabilidade. Entre elas, destaca-se a troca de materiais entre empresas, considerada a essência da SI, pois transforma resíduos em insumos produtivos, reduzindo desperdícios e promovendo eficiência (Miyamoto, Costa e Candiani, 2022; Chertow, 2000). A proximidade geográfica é apontada como fator que potencializa essas trocas, gerando sinergias logísticas. A aplicabilidade da SI, porém, vai além da indústria tradicional, alcançando setores como gestão urbana, agricultura familiar e construção civil, ampliando sua relevância para o desenvolvimento regional sustentável (Herzer et al., 2020; Henzer et al., 2020). Conceitualmente, autores como Boons et al. (2017) e Costa e Ferrão (2010) reforçam que a SI se inspira nos ecossistemas naturais, pautada em princípios como conectividade e cooperação, aproximando-a da Ecologia Industrial.

Dessa forma, a SI não se limita ao reaproveitamento de resíduos, mas se configura como um sistema complexo de interações que integra dimensões estratégicas, territoriais, econômicas, ecológicas e sociais. Sua implementação exige articulações interorganizacionais e governança colaborativa, promovendo inclusão produtiva, inovação tecnológica e geração de valor compartilhado. Fraccascia et al. (2019) ainda destacam o papel dos avanços tecnológicos e das plataformas digitais, que ampliam as interações simbióticas mesmo à distância, por meio de sistemas de negociação e logística coordenada. Nesse cenário, a SI se consolida como um modelo adaptável e integrador, capaz de superar barreiras geográficas e setoriais, conectando diferentes atores produtivos em prol da circularidade e da sustentabilidade.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Verificou-se que a SI é uma estratégia eficaz para promover a circularidade nos sistemas produtivos, por meio da cooperação entre empresas. Práticas como a troca de materiais, a qualificação de serviços e a transição para parques tecnológicos evidenciam o potencial transformador da SI para reestruturar cadeias produtivas de maneira sustentável. A pesquisa revelou que a SI não apenas reduz impactos ambientais, mas também gera vantagens competitivas, reduzindo custos e otimizando o uso de recursos. Além disso, sua aplicabilidade não apenas no setor industrial possibilita maior eficácia em diferentes contextos socioeconômicos. Teoricamente, o estudo fortalece a base conceitual da SI como um dos eixos centrais da EC, em alinhamento com abordagens sistêmicas inspiradas nos ecossistemas naturais (Chertow, 2000; Costa e Ferrão, 2010).

REFERÊNCIAS

- Azevedo, R. R. de, Fabris, M. T., Sabbadini, R., & Costa, S. E. G. (2021). Simbiose industrial e barreiras para sua implementação: Um estudo bibliométrico e sistemático. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 10(2), 276–297.
- Bail, F. R., Gonçalves, A. M. A., Kovaleski, J. L., Resende, M. L. M., & Pagani, N. R. (2016). Uma análise da produção científica sobre Simbiose Industrial. *Anais do VI Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção*.
- Begon, M., & Townsend, C. R. (2007). *Ecologia: De indivíduos a ecossistemas*. Artmed.
- Bocken, N., Short, S. W., Rana, P., & Evans, S. (2014). A literature and practice review to develop sustainable business model archetypes. *Journal of Cleaner Production*, 65, 42–56.
- Bocken, N. M. P., de Pauw, I., Bakker, C., & van der Grinten, B. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 33(5), 308–320.
- Caiado, R. G. G., Quelhas, O. L. G., Nascimento, D. L. M., Anholon, R., & Filho, W. L. (2017). Towards sustainable development through the perspective of eco-efficiency: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 165, 890–904.
- Callenbach, E. (2001). *Ecotopia*. Banyan Tree Books.
- Chertow, M. R. (2000). Industrial symbiosis: Literature and taxonomy. *Annual Review of Energy and the Environment*, 25(1), 313–337.
- Cicconi, P. (2021). Ecodesign e simbiose industrial. *Revista Sustentabilidade em Debate*, 11(2), 99–110.
- Coelho, L. C. (2018). Simbiose industrial e desenvolvimento sustentável. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental*, 12(1), 53–65.
- Conceição, M. M., Oliveira, L. A., & Rodrigues, F. (2019). O plástico como vilão do meio ambiente. *Revista Geociências-UNG-Ser*, 18(1), 50–53.
- Costa, I., & Ferrão, P. (2010). A case study of industrial symbiosis development using a middle-out approach. *Journal of Cleaner Production*, 18(10–11), 984–992.
- Da Cruz, H. L., & Moraes, C. A. M. (2023). Uma abordagem integrativa entre produção mais limpa e simbiose industrial em ecoparques industriais. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*.
- Da Silva, C. S. S., Dos Santos, F. R., & Pereira, L. M. (2020). Análise histórica da geração, coleta e destinação dos resíduos sólidos urbanos no Brasil. *Revista Tecnologia e Sociedade*, 16(41), 125–138.
- Da Silva, V. C., & Brito, M. G. S. L. (2021). Avaliação da gestão de resíduos sólidos em municípios da região Centro Sul–Ceará. *Research, Society and Development*, 10(14), e365101422026.
- De Assunção, M. F. (2019). Kenneth Boulding e a economia da nave espacial: Uma introdução ao pensamento ecológico. *Revista de Economia Verde*, 7(2), 87–94.
- De Macedo Ferreira, A. S., Dos Santos, M. F., & Da Silva, E. L. (2021). Fechamento de ciclos produtivos na simbiose industrial. *Revista de Engenharia e Sustentabilidade*, 9(1), 20–34.
- Donnelly, K., Beckett-Furnell, Z., Traeger, S., Okrasinski, T., & Holman, S. (2006). Eco-design implemented through a product-based environmental management system. *Journal of Cleaner Production*, 14(15–16), 1357–1367.
- Duarte, C., Souza, J. T., & Cavalcante, J. C. (2023). Economia circular e os desafios para implementação em países em desenvolvimento. *Revista Latino-Americana de Sustentabilidade*, 13(1), 55–70.
- European Commission. (2014). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions – Towards a circular economy: A zero waste programme for Europe.
- Fagliari, R. A. (2023). Um olhar para a Economia Circular e a Simbiose Industrial como base para o avanço da Política Nacional de Resíduos Sólidos. *Revista de Políticas Públicas Ambientais*.

- Faria, E. O. (2022). Do cluster ao ecossistema industrial: Uma análise do comportamento das organizações em direção a um modelo circular de produção sob a lente da Simbiose Industrial [Dissertação de mestrado].
- Farias, F. G., Oliveira, F. A., & Souza, P. H. (2021). Uma década de estudos sobre economia circular: Tendências e reflexões através de análise bibliométrica internacional. *Internext*, 16(3), 289–305.
- Figueiredo, K. R. (2023). Descarte de lixo inadequado da população brasileira. *Revista Extensão*, 7(4), 138–140.
- Fontenele, L. A. (2023). Economia circular: Evolução conceitual e implicações socioambientais. *Cadernos de Sustentabilidade*, 7(2), 65–83.
- Gonçalves, C. A., & Barroso, A. A. (2019). Produção circular e regeneração do capital natural. *Revista de Economia Verde*, 5(1), 22–35.
- Harris, S. (2004). The potential for industrial symbiosis in the UK. *Journal of Environmental Management*, 70(1), 27–36.
- Henzer, M. I., Herzer, L., Silva, L. F., & Oliveira, R. (2020). Industrial symbiosis as a driver for circular economy. *Sustainability*, 12(18), 7456.
- Kaviani, M. A., et al. (2020). Reverse logistics and waste minimization in the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 254, 120084.
- Lacerda, M. S., & Leitão, F. (2021). O coco verde no contexto da economia circular: Uma revisão sistemática da literatura. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, 14(3), 1–16.
- Levai, L. F. (2011). Ética ambiental biocêntrica: Pensamento compassivo e respeito à vida. *Jus Humanum: Revista Eletrônica de Ciências Jurídicas e Sociais*, 1(1), 7–20.
- Liu, C., & Côté, R. (2017). A framework for integrating ecosystem services into China's circular economy: The case of eco-industrial parks. *Sustainability*, 9(9), 1510.
- Miranda, L. V., et al. (2024). Educação ambiental e economia circular: Perspectivas para a sustentabilidade urbana. *Revista Brasileira de Educação Ambiental*, 19(1), 77–93.
- Miyamoto, S. M., Costa, R. C., & Candiani, G. (2022). Redes de simbiose industrial: Possibilidades entre empresas do município de Diadema (São Paulo), Brasil. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 27, 701–713.
- Motta, S. (2013). A economia circular e a simbiose industrial: Fundamentos para o desenvolvimento sustentável. *Revista de Desenvolvimento Sustentável*, 9(1), 20–34.
- Nunes, M. T. (2022). Economia linear e os limites do crescimento sustentável. *Revista Ciência e Sustentabilidade*, 10(2), 55–71.
- Oliveira, C. A., et al. (2019). Produção mais limpa e sustentabilidade ambiental. *Revista Produção e Desenvolvimento*, 5(2), 133–144.
- Pinheiro, P. A. C., et al. (2020). Vantagens competitivas da simbiose industrial. *Revista Organizações Sustentáveis*, 6(1), 99–116.
- Priyadarshini, P., & Abhilash, P. C. (2020). Circular economy for sustainable development in India. *Resources, Conservation and Recycling*, 155, 104662.
- Saavedra, Y. M. B., et al. (2018). Theoretical contributions to the understanding of the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 175, 605–619.
- Sakr, D., & Sena, P. (2017). Produção mais limpa no setor industrial. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental*, 11(3), 321–335.
- Sehnm, S., & Pereira, S. C. F. (2019). Sustentabilidade e economia circular no Brasil. *Revista Gestão & Sustentabilidade*, 6(1), 22–40.
- Sousa-Zomer, T. T., et al. (2018). Logística reversa como estratégia de sustentabilidade. *Journal of Cleaner Production*, 172, 3613–3623.
- Spash, C. L. (2013). The shallow or the deep ecological economics movement? *Ecological Economics*, 93, 351–362.
- Trevisan, A. H., et al. (2016). Simbiose industrial e redes colaborativas. *Revista Produção Online*, 16(4), 1512–1540.
- Vier, P. F. (2021). Economia circular: Rupturas e transformações nos modelos de produção. *Revista Interfaces da Educação*, 12(36), 340–358.
- Zhao, H., Zhao, H., & Guo, S. (2017). Evaluating the comprehensive benefit of eco-industrial parks by employing multi-criteria decision-making approach for circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 142, 2262–2276.