

FATORES PARA IMPLANTAÇÃO DA ECONOMIA CIRCULAR NO BRASIL: UMA ANÁLISE MULTICRITÉRIO

1 INTRODUÇÃO

Os graves impactos ambientais, o desrespeito pela natureza, o rápido crescimento populacional e as alterações climáticas ameaçam não só a estabilidade das economias mundiais, mas também a integridade dos seus ecossistemas (Azevedo et al., 2017). Estas dificuldades têm sido fatores que forçam empresas e governos a desenvolverem estratégias que integrem o crescimento econômico e a sustentabilidade (Azevedo et al., 2017; Govindan et al., 2022).

Nas últimas três décadas, o Desenvolvimento Sustentável tem sido discutido em escala global, com base nas primeiras percepções sobre questões ambientais e no efeito da atividade industrial (Elliott, 2012; Rosa et al., 2022). Nesse contexto, a crescente busca por alternativas e a preocupação com os resíduos têm impulsionado a EC, um modelo que substitui o fluxo linear de materiais e resíduos destinados a aterros por um sistema em que o desperdício é convertido em novas alternativas e recursos (Garza-Reyes et al., 2019).

A EC surge como uma economia que visa manter produtos, componentes e materiais em seu mais alto nível de utilidade e valor o tempo todo (Alves et al., 2022; Alamerew e Brissaud, 2019). Desta maneira, a aceleração da transição para uma EC, conforme articulado por Azevedo et al. (2017), é vital para o avanço de um sistema econômico mais sustentável. Neste modelo, a permanência maximizada de produtos, materiais e recursos não apenas reduz significativamente o volume de resíduos gerados, mas também apresenta uma oportunidade substancial para reestruturar e revitalizar a economia.

Os índices permitem a identificação da maturidade da empresa com relação a EC (Garza-Reyes et al., 2019) e dos fatores e pontos de melhorias de maneira hierarquizada (Azevedo et al., 2017; Gómez Zepeda et al., 2022) dando subsídio à tomada de decisão. No entanto, pouco se sabe acerca das dificuldades que impedem a implantação de uma EC efetiva nas organizações, principalmente no Brasil.

Embora as empresas sejam vistas como os agentes de mudança mais importantes, a definição de metas e indicadores para avaliação da adoção da EC ao nível da empresa ainda está nas fases iniciais (Baumer-Cardoso et al., 2023; Shen et al., 2011). Logo, a identificação de barreiras à adoção da EC incentiva pesquisadores e acadêmicos a encontrarem soluções para superar as dificuldades encontradas (Govindan et al., 2022; Singh et al., 2012). Como observado, a maioria das metodologias são desenvolvidas e testadas em empresas manufatureiras, no entanto, apesar da existência de ferramentas robustas de identificação e análise, a implantação da EC não é efetiva, principalmente em indústrias de pequeno e médio porte no Brasil (King, 2016; Azevedo et al., 2017).

Deste modo, a presente pesquisa tem como objetivo identificar os fatores que impactam a implantação de EC nas pequenas e médias indústrias brasileiras, adotando como ferramenta uma análise multicritério. De maneira particular, a pesquisa se concentrará na identificação dos fatores críticos e na compreensão das relações de causa e efeito entre esses fatores, a fim de desenvolver soluções que facilitem a implementação, de modo que seja possível identificar as alternativas e soluções que viabilizem sua implantação.

2 FATORES CRÍTICOS PARA IMPLANTAÇÃO DA ECONOMIA CIRCULAR

Embora as empresas sejam vistas como os agentes de mudança mais importantes, a definição de metas e indicadores para avaliação da adoção da EC Economia Circular ao nível da empresa ainda está nas fases iniciais (Baumer-Cardoso et al., 2023; Shen et al., 2011) A identificação de fatores para implantação da EC incentiva pesquisadores e acadêmicos a

encontrarem soluções para superar as dificuldades encontradas (Govindan et al., 2022). Nesse contexto, a Tabela 1 expõe os fatores críticos para implantação da EC descritos na literatura.

Tabela 01. Seleção de fatores e subfatores que impactam a implantação de EC em pequenas empresas

Fatores	Subfatores
Fatores Ambientais (FA)	F1 Impacto à saúde humana e a qualidade dos ecossistemas
	F2 Aumento da participação de materiais recicláveis e reciclados em novos produtos
	F3 Matérias-primas de origem sustentável
	F4 Uso eficiente de todos os recursos naturais (materiais, energia e água) / Minimização do uso geral de energia e água
Fatores Financeiros (FI)	F5 Redução da quantidade de resíduos gerados
	F6 Custo de investimento (máquinas, área, suprimentos, pessoal, etc.,)
	F7 Tempo de retorno do investimento
	F8 Problemas de escalabilidade e preço de produtos recuperados e reciclados
Fator Operacional (FO)	F9 Redução da dependência de importações de recursos naturais
	F10 Dificuldade de implantação de um novo sistema de produção / máquinas específicas
	F11 Ausência de instalações para recuperação de materiais
	F12 Ausência de parceiros qualificados
Fatores Sociais (FS)	F13 Dificuldade de controle de novas operações
	F14 Criação de empregos adicionais
	F15 Pressão de clientes e acionistas
	F16 Nível de satisfação do cliente ou consumidor
Fatores internos (FI)	F17 Relutância em mudar / Aversão a risco
	F18 Falta de apoio da alta administração / Políticas e culturas organizacionais engessadas
	F19 Conhecimento e experiência/ Falta de Mão de obra qualificada
	F20 Conscientização pública sobre Economia Circular
Fatores externos (FE)	F21 Interesse público em produtos reciclados/ recuperados
	F22 A resistência dos fabricantes em produzir produtos sustentáveis
	F23 Falta de apoio legal e governamental suficiente
	F24 Falta de padrões para projetar reciclados produtos / Conformidade
Fatores Legais (FL)	F25 Ausência de sistema padrão para avaliar desempenho

Fonte: autores.

3 METODOLOGIA

O desenvolvimento deste estudo foi dividido em três macro etapas: i) revisão bibliográfica e seleção dos fatores e subfatores elencados na literatura que impactam direta ou indiretamente a implantação da EC em empresas; ii) compilação dos dados e consulta com especialistas; e, iii) processamento estatístico e avaliação dos dados.

A seleção dos fatores foi realizada a partir da revisão bibliográfica que permitiu elencar os principais fatores descritos na literatura capazes de influenciar a implantação da EC nas indústrias. Essa etapa foi realizada por meio de consulta às principais bases bibliográficas eletrônicas, como *Web of Science*, *Scielo* e *Google Scholar*. Com a consulta bibliográfica, foram selecionados os fatores críticos capazes de influenciar as decisões de implantação da EC.

Após a seleção e organização dos fatores, seguiu-se para a consulta com os especialistas. A coleta de dados foi realizada por meio de um questionário. Os especialistas foram selecionados considerando o critério de experiência e atuação na área de estudo. Para evitar vieses de pesquisa, foram selecionados profissionais que participam ativamente de processos que envolvem EC em diferentes segmentos de mercado.

A última etapa consiste no processamento e análise dos dados. Dentro deste contexto, o método selecionado foi o *Decision Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL)*. O método *DEMATEL* se mostra útil para descobrir conhecimento causal a partir da análise causal (Campos et al., 2021), e sua utilização é fortemente recomendada em situações que demandam

a análise de modelos estruturais complexos e envolvem relações de causa e efeito entre fatores críticos (Dos Santos Soares et al., 2023).

As etapas para aplicação do método são:

Etapa 1: Matriz inicial de comparação: Ao final da avaliação de cada especialista, uma matriz quadrada de comparação entre os fatores é gerada, representando a influência de um fator na linha i sobre os fatores na coluna j , por meio da seguinte escala: 0- Sem influência, 1- Baixa Influência, 2- Média influência, 3- Alta Influência, 4- Altíssima.

Etapa 2: Cálculo da matriz média inicial. Como o número de matrizes obtidas é referente ao número de especialistas entrevistado, a matriz geral de relacionamento direto (A) é a etapa que integra a opinião de todos os especialistas, ou seja, faz-se uma média aritmética das respostas.

Etapa 3: Matriz de influência direta normalizada (X). O segundo passo consiste na normalização da matriz média. Os itens (a_{ij}) da matriz média (A) devem ser divididos pelo maior valor da soma das linhas.

Etapa 3: Cálculo da matriz de influência total: Nesta etapa, a matriz de relação direta regularizada (X) e a matriz de identidade são inseridas para calcular a matriz de influência total (X).

Etapa 4: Obter os valores normalizados da matriz de relação total: Encontrar as somas das linhas e das colunas da matriz T .

Assim, R_i é a soma da i -ésima linha na matriz T e D_j a soma da j -ésima coluna na matriz T . Desta forma, R_i mostra os efeitos totais, diretos e indiretos, recebidos pelo fator j dos outros fatores. Depois, fazer o cálculo dos valores de $P = (R_i + D_j)$ e $E = (R_i - D_j)$. Em outras palavras, $(R_i + D_j)$ mostra o grau de importância que o fator i desempenha no sistema, $(R_i - D_i)$ mostra o efeito líquido que o fator i contribui para o sistema. Quando $(R_i - D_j)$ é positivo, o fator i é uma causa líquida, ou seja, o fator i está afetando outros fatores; quando $(R_i - D_j)$ é negativo, o fator i é um efeito líquido, onde o fator i está sendo influenciado por outros fatores.

Etapa 5: Definir um valor máximo e obter o mapa de influência: A relação entre dois fatores é caracterizada com uma seta no fator de causa líquida (despachante) para o fator de efeito líquido (receptor) no mapa de influência se o valor de influência na matriz T for maior que o valor máximo. Com a aplicação do DEMATEL foi possível extrair a percepção de diversos profissionais de modo a estabelecer a relação entre os fatores e traçar o grau de relevância entre elas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O questionário foi respondido por doze especialistas representantes de empresas que atuam diretamente com sustentabilidade e EC. A correlação dos diversos aspectos associados à implantação da EC nas empresas foi aplicada por meio do DAMATEL. Os resultados obtidos das pesquisas com os especialistas também podem ser ilustrados na forma de diagrama, como mostra a Figura 1, ficando evidente as relações de causa e efeito entre os subfatores.

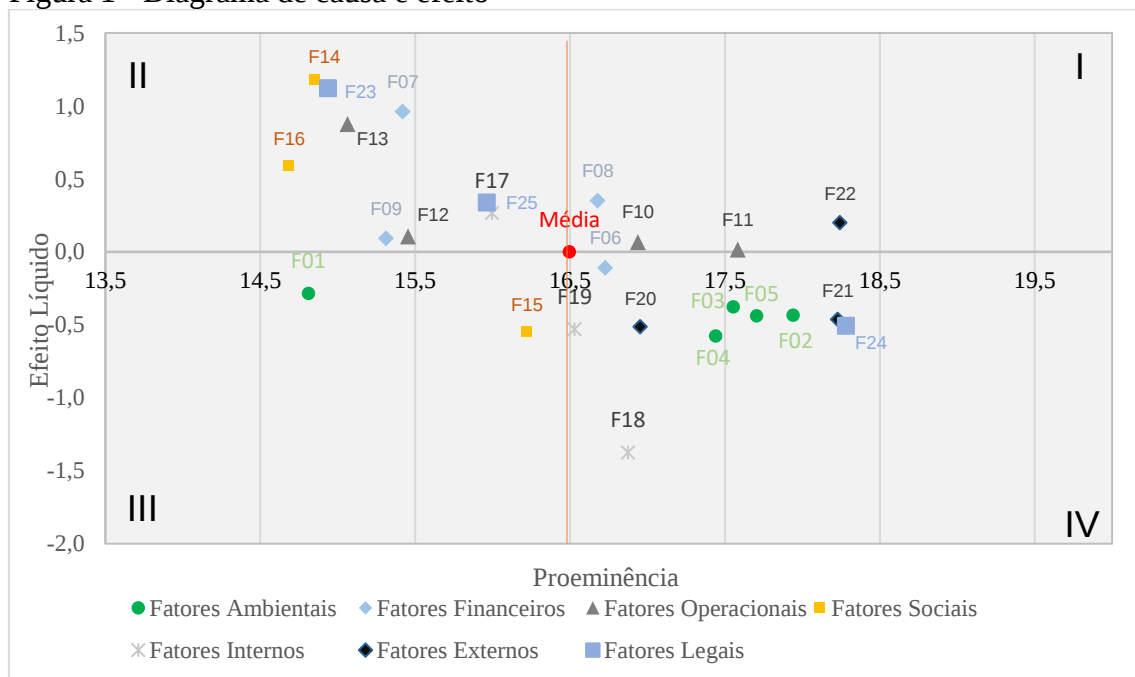
Os dados obtidos podem ser divididos em dois grandes grupos: um grupo influenciador (causa) (F07; F08; F09; F10; F11, F12, F13; F14; F16; F17; F22; F23; F25) e um grupo com subfatores impactados (efeito) (F01; F02; F03; F04; F05; F06 F15; F18; F19; F20; F21; F24).

É possível observar que dentre os fatores listados, destacam-se os Fatores Operacionais (FO) e os Ambientais (FA). Todos os subfatores pertencentes aos FO impactam os demais, ou seja, influenciam diretamente nas decisões sobre a implantação da EC em um processo ou empresa. De maneira complementar, todos os subfatores pertencentes aos FA sofrem o efeito das decisões e são impactados pelos outros subfatores.

Quando se observa os fatores pelo seu grau proeminência/importância (P) dentro do sistema, identifica-se que os subfatores F08, F10, F11 e F22 são os fatores mais importantes e

considerados centrais e com alta correlação entre si. Quando se observa os fatores pelo seu grau proeminência/importância (P) dentro do sistema, identifica-se que os subfatores F08, F10, F11 e F22 são os fatores mais importantes e considerados centrais e com alta correlação entre si.

Figura 1 - Diagrama de causa e efeito



Fonte: autores

Quando se observa os fatores pelo seu grau proeminência/importância (P) dentro do sistema, identifica-se que os subfatores F08, F10, F11 e F22 são os fatores mais importantes e considerados centrais e com alta correlação entre si. Ou seja, o processo de implantação de EC nas empresas de pequeno porte são fortemente influenciados pelos problemas de escalabilidade e preço de produtos recuperados e reciclados (F08), pela dificuldade de implantação de um novo sistema/produção (F10), pela ausência de instalações para recuperação de materiais (F11) e a resistência dos fabricantes em produzir produtos sustentáveis (F22).

Estes 4 subfatores destacados podem estar associados ao momento em que os projetos de EC são pensados. Raramente a etapa de desenvolvimento de produto é concebido considerando a circularidade e a adoção de matérias-primas sustentáveis. Os projetos de EC geralmente surgem como alternativas à processos ou produtos já em andamento, tornando o a implantação da EC ainda mais desafiadora. Em outras palavras, as empresas brasileiras frequentemente agem de maneira corretiva em relação a um sistema linear de produção e os subfatores encontrados ilustram esta dificuldade.

Os demais subfatores causais localizados à esquerda (Quadrante II) são considerados impulsionadores e precisam ser avaliados com cautela, pois apesar de baixa proeminência, estão muito correlacionados. Dentro deste quadrante, o subfator de maior importância é o F17 (Relutância em mudar / Aversão a risco) seguido por F25 (Ausência de sistema padrão para avaliar desempenho) e F12 (Ausência de parceiros qualificados). A indisponibilidade de parceiros apropriados é uma grande barreira à adoção da CE (Kumar et al., 2021). No estudo de Govindan et al. (2022) esta ausência de parceiros qualificados foi elencada como a quarta grande barreira na implementação da CE na indústria de cabos e fios.

Os valores cujo Efeito Líquido (E) são subfatores impactados pelos outros dentro do processo de implantação da EC nas empresas. Diferentemente dos demais, os subfatores ilustrados no Quadrante III são considerados variáveis independentes por apresentar baixa correlação e importância frente aos outros. Neste contexto, o impacto à saúde humana e a

qualidade dos ecossistemas (F1) e pressão de clientes e acionistas (F15) são tidos como não essenciais no processo de implantação da EC dentro das organizações.

No último quadrante (IV) ficam os subfatores de impacto, possuem alta proeminência, mas baixa relação. Isto significa que são impactados por outros fatores e não podem ser melhorados diretamente. Muitos destes subfatores pertencem ao grupo dos fatores ambientais (FA), ilustrando que aumento da participação de materiais recicláveis e reciclados em novos produtos (F02), matérias-primas de origem sustentável (F3), o uso eficiente de todos os recursos naturais (materiais, energia e água) (F04) e a redução da quantidade de resíduos gerados (F05) são os efeitos resultantes da implantação da EC dentro das organizações.

Além destes, o custo de investimento em máquinas, área, suprimentos, pessoal, etc. (F06), também resultou como um efeito sentido no processo de implantação da EC nas empresas e muitas vezes são capazes de impedir que o processo funcione. Vários estudos apontam o custo de investimento com sendo um dos assuntos mais importantes quando o assunto é implantação de EC, devido aos elevados custos de investimento e aos longos períodos de retorno, as indústrias transformadoras estão relutantes em mudar para a CE (Govindan et al., 2022; Kumar et al., 2021; Rejeb et al., 2022).

No que tange a falta de interesse público em produtos reciclados (F21), há um equívoco comum em achar que os produtos reciclados são de baixa qualidade, por esse motivo as pessoas não têm interesse em utilizá-los. Para Govindan et al. (2022), a consciência dos benefícios da utilização de produtos reciclados, tais como a redução da poluição, a redução do consumo de recursos, a redução do consumo de energia, a redução de resíduos, e assim por diante, pode aumentar o desejo das pessoas da comunidade de utilizar estes produtos.

Quando as respostas vêm de diretores ou CEOs, destaca-se a necessidade de cooperação entre empresas e setor público para a implementação bem-sucedida de projetos de EC. Incentivos fiscais, políticas públicas favoráveis e parcerias estratégicas são instrumentos importantes para estimular empresas a adotarem práticas mais sustentáveis. Num primeiro entendimento, as empresas têm interesse, mas a falta de incentivos e a necessidade de grandes investimentos impedem o avanço da implantação da EC.

Os elementos críticos abordados na pesquisa destacam a natureza abrangente e interdisciplinar do processo de implementação da EC nas organizações. A implantação da EC no contexto brasileiro se revela intrincada desde a fase conceitual, exigindo o grande apoio da alta administração, viabilidade técnica e operacional, além do suporte financeiro e a presença de um processo tecnológico apto a reintegrar o material ou resíduo em um novo ciclo produtivo.

4 CONCLUSÃO

O estudo identificou, a partir da bibliografia, 25 subfatores que influenciam a implantação da EC em empresas brasileiras, relacionados a 6 fatores principais. A participação de especialistas foi crucial para entender as correlações entre os subfatores e os desafios que as empresas enfrentam, revelando a baixa maturidade do mercado nacional nesse aspecto.

O método *DAMATEL* foi eficaz em identificar as relações de causa e efeito nas variáveis da EC no Brasil, revelando a complexidade dos projetos. Os principais desafios incluem a falta de apoio legal e governamental, a resistência dos fabricantes a produtos sustentáveis e o desinteresse público por produtos reciclados. Fatores ambientais e de sustentabilidade são efeitos das decisões, enquanto fatores operacionais estão centrados na causa, interferindo diretamente essas decisões.

Embora o estudo tenha sido abrangente, a limitação do método e as incertezas nas respostas podem gerar vieses. Para futuras pesquisas, recomenda-se o uso de números cinzentos (*grey numbers*) e lógica difusa (*fuzzy*) para lidar com a incerteza, além da simplificação dos critérios e redução das variáveis para aumentar o número de respondentes. Ainda, é sugerido

buscar representantes de todas as regiões do Brasil para comparar fatores e correlações por localidade.

REFERENCES

ALAMEREW, Yohannes A.; BRISSAUD, Daniel. Circular economy assessment tool for end of life product recovery strategies. **Journal of Remanufacturing**, v. 9, n. 3, p. 169-185, 2019.

ALVES, Josivan Leite et al. Economia Circular e Energias Renováveis: uma análise bibliométrica da literatura internacional. **Interações (Campo Grande)**, v. 23, n. 2, p. 267-283, 2022.

AZEVEDO, Susana Garrido; GODINA, Radu; MATIAS, João Carlos de Oliveira. Proposal of a sustainable circular index for manufacturing companies. **Resources**, v. 6, n. 4, p. 63, 2017.

BAUMER-CARDOSO, Marina I.; ASHTON, Weslynn S.; CAMPOS, Lucila MS. Measuring the adoption of circular economy in manufacturing companies: the proposal of the Overall Circularity Effectiveness (OCE) index. **Circular Economy and Sustainability**, v. 3, n. 1, p. 511-534, 2023.

DE CAMPOS, Elaine Aparecida Regiani et al. A grey-DEMATEL approach for analyzing factors critical to the implementation of reverse logistics in the pharmaceutical care process. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, n. 11, p. 14156-14176, 2021.

DOS SANTOS SOARES, Targieli; SILVA, Maisa Mendonça; SANTOS, Simone Machado. A hybrid Grey-DEMATEL approach to identify barriers to the implementation of an end-of-life vehicle management system in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 386, p. 135791, 2023.

ELLIOTT, Jennifer. **An introduction to sustainable development**. Routledge, 2012.

GARZA-REYES, Jose Arturo et al. A circularity measurement toolkit for manufacturing SMEs. **International Journal of Production Research**, v. 57, n. 23, p. 7319-7343, 2019.

GÓMEZ ZEPEDA, Perla Ivette et al. Determinación de mejores prácticas de logística inversa asociadas a la competitividad a través del teorema de Bayes. **RIDE. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo**, v. 13, n. 25, 2022.

GOVINDAN, Kannan et al. Circular economy adoption barriers: An extended fuzzy best–worst method using fuzzy DEMATEL and Supermatrix structure. **Business Strategy and the Environment**, v. 31, n. 4, p. 1566-1586, 2022.

KING, Lester O. Functional sustainability indicators. **Ecological indicators**, v. 66, p. 121-131, 2016.

KUMAR, Pravin; SINGH, Rajesh Kr; KUMAR, Vikas. Managing supply chains for sustainable operations in the era of industry 4.0 and circular economy: Analysis of barriers. **Resources, conservation and recycling**, v. 164, p. 105215, 2021.

REJEB, Abderahman et al. Barriers to blockchain adoption in the circular economy: a fuzzy Delphi and best-worst approach. **Sustainability**, v. 14, n. 6, p. 3611, 2022.

ROSA, Luciana Aparecida Barbieri da et al. Circular economy and sustainable development goals: main research trends. **Revista de Administração da UFSM**, v. 16, n. 1, p. e9, 2023.

SHEN, Li-Yin et al. The application of urban sustainability indicators—A comparison between various practices. **Habitat international**, v. 35, n. 1, p. 17-29, 2011.

SINGH, Rajesh Kumar et al. An overview of sustainability assessment methodologies. **Ecological indicators**, v. 15, n. 1, p. 281-299, 2012.