

Aplicação de big data e analytics na economia circular: estratégias para otimização de recursos e redução de desperdícios

Marcelo Lira Brandão¹; 0009-0009-4141-8757
Kelly Alonso Costa¹; 0000-0002-7018-5982
Tiago Araujo Neves¹; 0000-0002-7622-8090
Francisco Santos Sabbadini^{1, 2}; 0000-0001-5303-9409

1 – UFF, Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, RJ.
marcelolira@id.uff.br (contato principal)

2 – UERJ, Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Resende, RJ.

Resumo: O conceito de economia circular (EC) propõe a transição de um modelo linear de produção (extrair-usar-descartar) para um modelo cíclico, focado na redução de resíduos, reutilização de materiais e eficiência no uso de recursos. Práticas como reparo, reutilização, remanufatura, recondição e reciclagem são fundamentais nesse contexto, pois prolongam o ciclo de vida dos produtos e recuperam valor de materiais, diminuindo a necessidade de recursos virgens e mitigando impactos ambientais. A implementação bem-sucedida da EC exige estratégias inteligentes, incluindo o uso de tecnologias de Big Data e Analytics, para coletar e analisar grandes volumes de dados ao longo do ciclo de vida dos produtos. Essas ferramentas permitem monitorar o uso de recursos, otimizar processos produtivos e identificar oportunidades de melhoria (como pontos de reciclagem, reuso e remanufatura), contribuindo para a sustentabilidade e a eficiência operacional das organizações. Este trabalho explora como Big Data e Analytics podem apoiar a adoção de práticas de economia circular. Foi realizada uma análise bibliométrica exploratória da literatura recente (2016–2024) a fim de mapear as principais aplicações de Big Data e Analytics no contexto da EC. Os resultados incluem a identificação de tendências de pesquisa, áreas de conhecimento envolvidas e um mapa analítico conectando tecnologias de Big Data Analytics às estratégias circulares. Os achados indicam que a integração de analytics e economia circular tem crescido significativamente nos últimos anos, e apontam como ferramentas de Big Data Analytics (BDA) podem otimizar o uso de recursos e reduzir desperdícios. Conclui-se que a combinação de estratégias de EC com BDA configura uma abordagem promissora para aprimorar a sustentabilidade nos processos industriais, fornecendo suporte à tomada de decisão baseada em dados e aumentando a eficácia das iniciativas de economia circular.

Palavras-chave: big data. analytics. economia circular. análise bibliométrica. sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

A economia circular (EC) propõe manter recursos em uso pelo máximo tempo, reduzindo entradas de matéria-prima e geração de resíduos por meio do desaceleramento, fechamento e estreitamento dos ciclos de materiais e energia (GEISSDOERFER et al., 2017; KORHONEN et al., 2018).

As estratégias centrais incluem reparo, reutilização, remanufatura, recondicionamento e reciclagem, que estendem a vida útil de produtos e materiais, evitam resíduos desnecessários e diminuem a extração de recursos naturais (ROSARIO et al., 2014; SANT'ANNA et al., 2014; PAIVA; SERRA, 2014).

Avanços em Big Data e Analytics (5Vs; análises descritiva, preditiva e prescritiva) habilitam previsão de demanda, monitoramento em tempo real via IoT e otimização da logística reversa, além de transparência/rastreabilidade nas cadeias produtivas, revelando gargalos e oportunidades de melhoria contínua (SUN; HUO, 2019; AKTER; WAMBA, 2016).

Este trabalho tem como objetivo desenvolver uma estrutura analítica que conecte tecnologias de BDA (modelos preditivos, IA, IoT e análise em larga escala) às práticas circulares (remanufatura, reuso, reciclagem etc.), evidenciando como tais tecnologias otimizam recursos e reduzem desperdícios. Para isso, realiza-se estudo exploratório bibliométrico sobre Big Data, Analytics e EC, cujos métodos e achados são apresentados nas seções seguintes.

MÉTODOS

Foi realizado um estudo exploratório com análise bibliométrica para mapear como Big Data e Analytics têm sido aplicados à Economia Circular (EC) e, ao final, derivar um mapa analítico que religa tecnologias de BDA a práticas circulares.

Coleta e corpus: a Web of Science foi consultada para o período 2016–2024 com três consultas: *BD+CE (Big Data AND Circular Economy)*, *AN+CE (Analytics AND Circular Economy)* e *BDA+CE (Big Data AND Analytics AND Circular Economy)*. Os resultados foram exportados em RIS e organizados no Zotero. Do total de 1.142 registros, duplicatas foram

removidas e procedeu-se à triagem por título e resumo, mantendo-se apenas trabalhos que tratavam explicitamente da interseção (Big Data/Analytics com EC), resultando em 672 artigos únicos.

Análises bibliométricas: foram calculados, (i) evolução anual das publicações (2016–2024); (ii) distribuição por país (com indícios de instituições líderes); (iii) categorias da Web of Science mais recorrentes (ambiental, gestão, engenharia etc.); e (iv) agências de fomento mais frequentes. Utilizaram-se os painéis analíticos da própria WoS e planilhas para tabulação e geração de gráficos.

Palavras-chave e clusters: a co-ocorrência de palavras-chave foi mapeada no VOSviewer para o conjunto completo (limiar ≥ 10) e para os 20 artigos mais citados (limiar ≥ 4), identificando-se núcleos temáticos que conectam termos de EC (p.ex., *recycling*, *sustainability*) a tecnologias de dados (p.ex., *IoT*, *machine learning*).

Mapa analítico (qualitativo): procedeu-se à leitura integral dos 20 artigos mais citados para extrair práticas de EC (remanufatura, reuso, reciclagem, produção sob demanda, logística reversa) e tecnologias de BDA (análise preditiva, IoT, ML/IA, sistemas de apoio à decisão). Realizou-se uma síntese iterativa para conectar prática e tecnologia, destacando convergências e lacunas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Evolução temporal: entre 2016–2024 houve forte crescimento das pesquisas na interseção entre dados e economia circular. AN+CE saltou de 1 publicação (2016) para 82 (2024), com trajetória constante. BD+CE passou de 3 (2016) a um pico em 2023 (115) e leve recuo em 2024 (107), sugerindo estabilização. BDA+CE começou tímido (1 em 2016; 19 até 2020), acelerou a partir de 2021 e estabilizou em patamar elevado (49 em 2023, mantido em 2024). O conjunto indica intensificação pós-2021, alinhada à maior disponibilidade de dados e à urgência de soluções sustentáveis.

Distribuição geográfica: a produção concentra-se em países líderes: China, Índia e Reino Unido, com Itália e França logo atrás. O Brasil aparece de forma consistente: 42 (BD+CE), 20 (AN+CE) e 17 (BDA+CE), posicionando-se em faixa intermediária com crescimento. AN+CE mostra distribuição mais equilibrada entre países (possível barreira de entrada menor que BD). Já BDA+CE permanece mais concentrado, sinalizando maiores exigências técnicas (infraestrutura e equipes multidisciplinares), mas com expansão gradual para novas regiões.

Áreas de pesquisa: predominam *Environmental Sciences*, *Green & Sustainable Science and Technology* e *Environmental Studies*, acompanhadas por *Management/Business* (implementação organizacional, cadeias de suprimentos) e por ramos da Engenharia (ambiental, industrial e manufatura). Em BDA+CE emergem oportunidades interdisciplinares (p. ex., *Development Studies* e temas sociais), reforçando o potencial de analytics avançado para desafios amplos da circularidade.

Fomento: agências governamentais e internacionais ancoram o campo: destaque para NSFC (China), União Europeia, UKRI/EPSC e, no Brasil, CNPq e CAPES. A diversidade de financiadores sugere reconhecimento estratégico do tema para inovação sustentável e competitividade.

Palavras-chave e núcleos temáticos: a co-ocorrência revela núcleos que conectam *circular economy/sustainability/recycling a big data/loT/machine learning*. No recorte dos 20 artigos mais citados, o núcleo permanece (circular economy + big data + sustainable development), com IoT e ML/IA em evidência, sinal de convergência tecnológica em torno de objetivos de sustentabilidade.

Mapa analítico: a leitura dos 20 artigos mais citados mostra tecnologias de BDA como facilitadoras diretas de práticas circulares:

- Análise preditiva: produção sob demanda, redução de estoque e desperdício.
- IoT: monitoramento em tempo real de energia/recursos e gestão do ciclo de vida (manutenção preventiva, reuso, recolhimento para reciclagem).

- ML/IA: otimização de reciclagem (triagem), gestão inteligente de resíduos e logística reversa.
- Plataformas/analytics: sistemas de apoio à decisão, transparência/rastreabilidade e conexão oferta–demanda para remanufatura.

Em conjunto, o mapa evidencia sinergias operacionais: para cada prática circular (remanufatura, reuso, reciclagem, produção limpa) há um conjunto claro de ferramentas de dados que potencializa resultados (eficiência, rastreabilidade, redução de perdas), convertendo a convergência EC+BDA em ganhos ambientais e econômicos concretos.

Figura 1 - Mapa analítico conectando práticas de economia circular (estratégias de reutilização, reciclagem, remanufatura, etc.) às tecnologias de Big Data Analytics que as suportam.

Artigo/Tecnologia	Análise Preditiva	IoT	Análise de Dados	Business Analytics	Blockchain	Inteligência Artificial
Data-driven sustainable intelligent manufacturing based on demand response for energy-intensive industries	x	x				
A big data driven analytical framework for energy-intensive manufacturing industries		x	x			
Linking circular economy and digitalisation technologies: A systematic review		x	x			
The effects of business analytics capability on circular economy				x		
The smart circular economy: A digital-enabled circular strategies framework		x	x			
Digitally-enabled sustainable supply chains in the 21st century			x		x	
Big data analytics capability and decision-making				x		
Towards a circular economy: An emerging economies context			x			
Exploring How Usage-Focused Business Models Enable Circular Economy through Digital Technologies		x	x			
Integrating construction supply chains within a circular economy			x			



The role of digital technologies to overcome Circular Economy challenges	X	X	
A review of emerging industry 4.0 technologies in remanufacturing			X
Blockchain-based life cycle assessment: An implementation framework		X	
Effect of eco-innovation on green supply chain management, circular economy		X	
Disassembly and deconstruction analytics system (D-DAS) for circular economy		X	
The impact of big data analytics and artificial intelligence on green supply chain		X	X
A comprehensive review of big data analytics throughout product lifecycle		X	
The role of circular economy principles and sustainable-oriented business models			X
Circular Digital Built Environment: An Emerging Framework		X	
At the Nexus of Blockchain Technology, the Circular Economy, and Product Deletion		X	X

Fonte: (Autores, 2025).

CONCLUSÕES

A evidência bibliométrica (2016–2024) mostra que a integração entre Big Data/Analytics e Economia Circular deixou de ser tendência para se tornar campo consolidado, com crescimento consistente e expansão geográfica. Tecnologias como análise preditiva, IoT e ML/IA habilitam previsão de demanda, monitoramento em tempo real, otimização de logística reversa e maior rastreabilidade, convertendo princípios circulares em ganhos operacionais e de sustentabilidade. O mapa analítico produzido conecta, de forma prática, cada estratégia

circular (remanufatura, reuso, reciclagem, produção sob demanda) às ferramentas de BDA mais efetivas, oferecendo um guia de implementação orientado a resultados.

REFERÊNCIAS

Akter, S. and Wamba, S. (2016). Big data analytics in e-commerce: a systematic review and agenda for future research. *Electronic Markets*, 26(2), 173-194. <https://doi.org/10.1007/s12525-016-0219-0>

Alrumiah, S. and Hadwan, M. (2021). Implementing big data analytics in e-commerce: vendor and customer view. *IEEE Access*, 9, 37281-37286. <https://doi.org/10.1109/access.2021.3063615>

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR ISO 59004:2024: Economia circular — Princípios, estrutura e termos. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

Constantiou, I. and Kallinikos, J. (2015). New games, new rules: big data and the changing context of strategy. *Journal of Information Technology*, 30(1), 44-57. <https://doi.org/10.1057/jit.2014.17>

Geissdoerfer, Martin, Paulo Savaget, Nancy M. P. Bocken, and Erik Jan Hultink. (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>

Iqbal, R., Doctor, F., More, B., Mahmud, S., & Yousuf, U. (2020). Big data analytics: computational intelligence techniques and application areas. *Technological Forecasting and Social Change*, 153, 119253. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.03.024>

Jouni Korhonen, Antero Honkasalo, Jyri Seppälä. (2018). Circular Economy: The Concept and its Limitations. *Ecological Economics*, Volume 143, Pages 37-46. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041>

Kaur, K. (2019). Demystifying big data analytics techniques. *International Journal of Computer Networking Wireless and Mobile Communications*, 9(1), 17-24. <https://doi.org/10.24247/ijcnwmcjun20193>

Le, T. and Liaw, S. (2017). Effects of pros and cons of applying big data analytics to consumers' responses in an e-commerce context. *Sustainability*, 9(5), 798. <https://doi.org/10.3390/su9050798>

Lima, P. d. M., Olivo, F., Furlan, M. B., Justi, J., & Paulo, P. L. (2022). Análise de custos do planejamento estratégico do sistema integrado de resíduos sólidos urbanos em Campo Grande/MS. *Engenharia Sanitária E Ambiental*, 27(4), 749-759. <https://doi.org/10.1590/s1413-415220210216>

McAfee, A., & Brynjolfsson, E. (2012). Big Data: The Management Revolution. Harvard Business Review, 90(10), 60-+. Retrieved from Clarivate.

Otto, K. and Lau, R. (2016). Leveraging big data to predict firms performance. <https://doi.org/10.15224/978-1-63248-089-7-39>

Paiva, L. M. and Serra, E. G. (2014). A remanufatura de equipamentos eletroeletrônicos como contribuição para o desenvolvimento sustentável: uma avaliação do caso dos refrigeradores. Desenvolvimento E Meio Ambiente, 29. <https://doi.org/10.5380/dma.v29i0.32311>

Rodrigues, F. L., Correia, A. D. J. C., Neto, G. C. D. O., & Amorim, M. (2023). Modelo conceitual da logística reversa de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos para promover economia circular. Anais Do Encontro Nacional De Engenharia De Produção. https://doi.org/10.14488/enegep2023_tn_st_400_1966_45908

Rosario, C. G. A., Vezzà, G. M., Silvas, F. P. C., Moraes, V. T. d., Espinosa, D. C. R., & Tenório, J. A. S. (2014). Caracterização de placa de circuito impresso proveniente de computadores obsoletos visando processamento biohidrometalúrgico. ABM Proceedings. <https://doi.org/10.5151/1516-392x-24687>

Sant'Anna, L. T., Machado, R., & Brito, M. J. d. (2014). Os resíduos eletroeletrônicos no Brasil e no exterior: diferenças legais e a premência de uma normatização mundial. Revista De Gestão Social E Ambiental, 8(1), 37-53. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v8i1.822>

Silva, J. H. d. and Hayashi, M. C. P. I. (2018). Estudo bibliométrico da produção científica sobre a associação de pais e amigos dos excepcionais. Revista Educação Especial, 31(60), 65. <https://doi.org/10.5902/1984686x18170>

Silva, M. D. d. A., Macêdo, J. d. S., Lima, C. J. d. L., Da Silva, S. M., Martins, S. S. d. M., Da Silva Júnior, C. J. G., ... & Costa, A. F. d. S. (2024). Compósito têxtil produzido através de resíduos têxteis, celulose vegetal e microbiana. Brazilian Journal of Development, 10(1), 955-964. <https://doi.org/10.34117/bjdv10n1-062>

Sun, Z. and Huo, Y. (2019). The spectrum of big data analytics. Journal of Computer Information Systems, 61(2), 154-162. <https://doi.org/10.1080/08874417.2019.1571456>