



25 a 28
setembro
2024
Campus Central UEPG
Ponta Grossa | PR

Explorando as Interseções das Inteligências
Artificiais na Sociedade Atual

Realização:



Apoio:



COMTURPG



UMA PERSPECTIVA DE DINÂMICA DE SISTEMAS PARA A GESTÃO DAS BATERIAS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS EM FIM DE VIDA: UMA REVISÃO BIBLIOMÉTRICA

A SYSTEMS DYNAMICS PERSPECTIVE FOR THE MANAGEMENT OF ELECTRIC VEHICLE BATTERIES AT THE END OF LIFE: A BIBLIOMETRIC REVIEW

ÁREA TEMÁTICA: INOVAÇÃO, TECNOLOGIA E EMPREENDEDORISMO

Émerson Felipe Neves dos Santos, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil,
emersonfelipe1717@gmail.com

Caroline Rodrigues Vaz, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, caroline.vaz@ufsc.br

Mauricio Uriona Maldonado, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, mauricio.uriona@gmail.com

Resumo

Os veículos elétricos estão sendo cada vez mais vistos como uma solução para problemas graves de poluição do ar, mostrando ser uma tecnologia capaz de reduzir a dependência de combustíveis fósseis. Com o crescimento do número de baterias de veículos elétricos em fim de vida, haverá a necessidade de identificar práticas para gerenciamento dos resíduos. Então, estratégias circulares são primordiais para recuperação de produtos em fim de vida. Com isso, há necessidade de ferramentas para diminuir as incertezas, faz-se uso da Dinâmica de Sistemas. Portanto, utilizar a dinâmica de sistemas juntamente com a economia circular, como no caso das baterias de veículos elétricos é importante, pois é uma abordagem de simulação para modelar sistemas extensos e complexos ao longo do tempo utilizando de variáveis de estoques, fluxos e ciclos de feedback. Para isso, utilizou-se o método SYSMAP, para explorar informações quantitativas de pesquisas realizadas na literatura. Os resultados mostraram fatores para compreensão e desenvolvimento da gestão das baterias de veículos elétricos em fim de vida e importância das práticas da economia circular e a dinâmica de sistemas em todo processo..

Palavras-chave: Gestão das Baterias de Veículos Elétricos em Fim de Vida; Práticas da Economia Circular; Dinâmica de Sistemas.

Abstract

Electric vehicles are increasingly being seen as a solution to serious air pollution problems, proving to be a technology capable of reducing dependence on fossil fuels. With the growth in the number of end-of-life electric vehicle batteries, there will be a need to identify practices for waste management. Therefore, circular strategies are

essential for recovering end-of-life products. Therefore, there is a need for tools to reduce uncertainties, using System Dynamics. Therefore, using system dynamics together with the circular economy, as in the case of electric vehicle batteries, is important, as it is a simulation approach to model extensive and complex systems over time using variables such as stocks, flows and cycles. feedback. For this, the SYSMAP method was used to explore quantitative information from research carried out in the literature. The results showed factors for understanding and developing the management of end-of-life electric vehicle batteries and the importance of circular economy practices and system dynamics throughout the process.

Keywords: *Management of End-of-Life Electric Vehicle Batteries; Circular Economy Practices; Systems Dynamics.*

1. INTRODUÇÃO

A globalização e o crescimento econômico impulsionam a redução das barreiras comerciais, aumentando a intensidade e a expansão do setor de transporte. No entanto, as partes interessadas precisam fazer maiores esforços para a transição para o transporte verde, uma vez que 24% das emissões de gases de efeito estufa são provenientes do setor de transporte, com o transporte terrestre representando 72% desse total e ainda em crescimento (Cao et al., 2021). Nesse contexto, os veículos elétricos estão sendo cada vez mais vistos como uma solução para problemas graves de poluição do ar, mostrando ser uma tecnologia capaz de reduzir a dependência de combustíveis fósseis (Sadiq Jajja et al., 2021).

Esses veículos são modelos inovadores e ecologicamente sustentáveis, desenvolvidos para reduzir a poluição causada pelos automóveis convencionais. Nesse sentido, eles oferecem benefícios ambientais, diminuem a dependência do petróleo e reduzem a poluição atmosférica, promovendo um transporte mais sustentável (Shanmugavel; Alagappan; Balakrishnan, 2022).

Os veículos elétricos são analisados como maneira de diminuir ou até eliminar muitos problemas para manutenção da segurança energética (Raven; Walrave, 2020). Sendo uma importante tecnologia capaz de mitigar os problemas energéticos e encontrar soluções, a partir dos desenvolvimentos de teorias relacionadas a inovações tecnológicas.

Todavia, com a frota de veículos elétricos aumentando no mercado, haverá a necessidade de identificar práticas adequadas do gerenciamento dos resíduos. Por isso, aplicar estratégias circulares é primordial para um sistema de recuperação de produtos em fim de vida (Demartini et al., 2023). O crescimento também levará a um grande número de baterias em fim de vida que serão descartadas após a redução de 20% de sua capacidade restante. Estima-se que até 2025 haja 3,4 milhões de baterias de VEs descartadas em fim de vida, totalizando 953 GWh de capacidade de bateria (Thakur et al., 2022).

Portanto, sob os aspectos econômico, ecológico e social, a bateria é atualmente o componente mais crucial dos veículos elétricos. Somente através de uma utilização circular eficiente e funcional das baterias e seus componentes, a eletromobilidade permitirá uma transição a longo prazo para uma mobilidade mais sustentável (Glöser-Chahoud et al., 2021).

Em sintonia com todo o processo de transição, há necessidade de ferramentas para diminuir as incertezas, pois o conceito de economia circular deve ser operacionalizado para possibilitar decisões que ultrapassem os limites disciplinares, por isso, faz-se uso da Dinâmica de Sistemas (DS) (Guzzo et al., 2022).

Portanto, utilizar a dinâmica de sistemas juntamente com a economia circular, como no caso das baterias de veículos elétricos em fim de vida é importante, pois é uma abordagem de

simulação para modelar sistemas extensos e complexos ao longo do tempo utilizando de variáveis de estoques, fluxos e ciclos de feedback (Kamyabi; Moazzez; Kashan, 2022).

Este artigo tem como objetivo relatar uma revisão bibliométrica das principais definições de gestão das baterias de veículos elétricos, práticas circulares de baterias de veículos elétricos em fim de vida e dinâmica de sistemas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Os veículos elétricos são modelos inovadores e ecologicamente sustentáveis, projetados para reduzir a poluição gerada pelos automóveis tradicionais. Nesse sentido, eles proporcionam benefícios ambientais, diminuem a dependência do petróleo e reduzem a poluição atmosférica, promovendo um transporte mais sustentável (Shanmugavel et al., 2022). Atualmente, os modelos mais populares incluem: veículos elétricos movidos à bateria; híbridos que utilizam gasolina, mas com uma bateria para melhorar a eficiência; híbridos plug-in, que podem ser alimentados tanto por gasolina quanto pela rede elétrica; e veículos elétricos de alcance estendido, que possuem diferentes níveis de eletrificação no sistema de powertrain (Yu et al., 2022).

Segundo Raven e Walrave (2020), os veículos elétricos são considerados uma solução para reduzir ou até eliminar muitos problemas relacionados à manutenção da segurança energética. Eles não emitem gás carbônico e podem integrar outras formas de energia, como painéis fotovoltaicos e energia eólica, nos sistemas de conexão à rede elétrica. No entanto, apesar do avanço quase irreversível da eletricidade renovável, as atuais tendências de mercado e políticas governamentais ainda não são suficientes para atender de forma ótima a essa demanda a curto prazo (Noel, 2017). Portanto, a inovação envolve a interação de diversos atores em um processo não linear, guiado por ferramentas de retroalimentação do conhecimento (OECD/Eurostat, 2018).

Para isso, a promoção de práticas da economia circular para as baterias dos veículos elétricos em fim de vida exige um desenvolvimento e implementação de toda uma cadeia de abastecimento, juntamente com toda uma logística que conta com a coleta e triagem, recuperação e remanufaturamento de materiais, reutilização, upcycling, downcycling e o impulsionamento de novos mercados para materiais reciclados e de baterias remanufaturada (Malinauskaite; Anguilano; Rivera, 2021). O uso eficiente de recursos materiais e a gestão adequada de resíduos são fundamentais para os modelos de economia circular, principalmente para o tratamento de baterias de veículos elétricos no final de sua vida útil (Kastanaki; Giannis 2023).

Então, é necessário que se utilize de ferramentas para prevê o futuro dessas baterias e suas consequências ao meio ambiente, e essa previsão, envolve um sistema de tomada de decisões em que as escolhas atuais são influenciadas pelas expectativas futuras. No contexto da previsão de demanda, o processo é intrincado devido à influência de vários fatores econômicos, sociais e técnicos, bem como suas interconexões (Alasad; Motawa; Ogunlana, 2013).

Logo, a Dinâmica de Sistemas é uma abordagem que simplifica a modelagem de eventos complexos, permitindo simulações e análises de comportamentos que evoluem de maneira não linear ao longo do tempo, ela se mostra especialmente útil na previsão de sistemas complexos em circunstâncias incertas (Forrester, 1980). A metodologia de Dinâmica de Sistemas possibilita a análise econômica ao integrar um sistema de feedback em um modelo dinâmico não linear, que consiste em elementos de acumulação e de fluxo (Jo; Kim; Lee, 2023).

3. METODOLOGIA

Para a realização das análises bibliométrica e de conteúdo, foi utilizado o método SYSMAP (Scientometric and Systematic yielding Mapping Process) que tem por objetivo mostrar uma forma mais estruturada os processos de uma revisão da literatura, a partir da combinação da análise cientométrica e análises de conteúdo, principalmente quando o pesquisador possui poucos conhecimentos sobre a temática ou busca mais detalhes específicos (Rodrigues Vaz; Maldonado 2017).

A seguir, o modelo proposto por Rodrigues Vaz e Maldonado (2017), que consiste em quatro fases, apresentadas na Figura 1.



Figura 1 – Modelo SYSMAP

Os passos seguidos na elaboração deste artigo foram: construção, que consiste na coleta dos trabalhos a serem analisados; filtragem, que envolve a seleção dos artigos principais, a exclusão de trabalhos duplicados, e a leitura dos títulos e resumos para verificar a relevância em relação ao tema abordado; e bibliometria, para manter e analisar os relacionamentos entre os artigos (Rodrigues Vaz & Maldonado, 2017).

A construção dos artigos foi desenvolvida nas bases de dados: Scopus e Web of Science, com as respectivas palavras-chave relacionadas ao tema de gestão das baterias de veículos elétricos, práticas circulares de baterias de veículos elétricos em fim de vida e dinâmica de sistemas. As palavras-chave utilizadas, tanto no plural, singular e com e sem hífen, foram: "End-of-life electric vehicle batteries", "EOL", "End-of-life", "System dynamics", "System dynamics model", "Simulation", "Circular economy", "Urban circular economy", "Circular practices". Todas no mês de janeiro de 2024, sem restrições nas bases. Com o resultado das pesquisas foi encontrado um total de 141 artigos, desses foram excluídos os duplicados, e por outros motivos como congressos, restando 87 artigos. Em seguida, os títulos e resumos foram lidos juntamente com os artigos que não abordavam a temática buscada foram excluídos, restando então 11 artigos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram identificados 11 artigos que abordam a temática do gerenciamento de baterias de veículos elétricos em fim de vida. A análise dos anos de publicação desses artigos, conforme ilustrado na Figura 2, revela que os estudos começaram a surgir entre os anos de 2019 e 2023. Esse intervalo de tempo relativamente curto indica que a pesquisa sobre este tema é ainda emergente e pouco explorada. A concentração das publicações em um período recente reflete o crescente interesse e a urgência em encontrar soluções sustentáveis para o gerenciamento de baterias de veículos elétricos, um tópico que está ganhando relevância à medida que a adoção de veículos elétricos aumenta globalmente. A Figura 2 ilustra a distribuição temporal das publicações, destacando a progressão e a intensificação das pesquisas nesta área específica ao longo dos últimos anos.

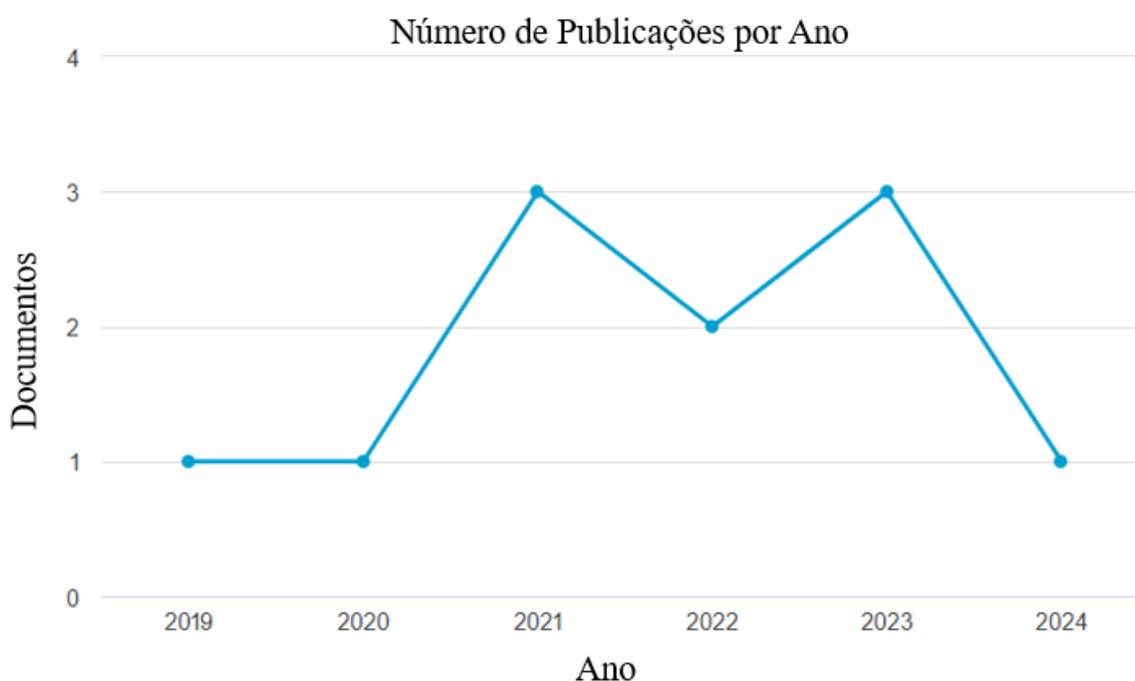


Figura 2 – Número de publicações por ano

Os onze artigos citados do portfólio são descritos no Quadro 1. Os trabalhos, 1º, 3º, 4º e 5º são os de: Alamerew, Y. A., & Brissaud, D. (2020); Fallah, N., Fitzpatrick, C., Killian, S., & Johnson, M. (2021); Kurdve, M., Zackrisson, M., Johansson, M. I., Ebin, B., & Harlin, U. (2019); Demartini, M., Ferrari, M., Govindan, K., & Tonelli, F. (2023), que estão interligados pelo tema da transição para uma economia circular e sustentável no contexto dos veículos elétricos e suas baterias. O primeiro destaca a importância de um modelo de economia circular, com foco na logística reversa e recuperação de baterias de veículos elétricos. O terceiro aborda a necessidade de políticas e sistemas para gerenciar adequadamente as baterias no fim de vida, enfatizando o impacto das políticas governamentais na adoção de veículos elétricos e na reutilização das baterias. O quarto discute a urgência de um sistema eficiente de reutilização, remanufatura e reciclagem (3R) para minimizar a pegada ambiental dos veículos elétricos, identificando fatores críticos para o desempenho desse sistema. Por fim, o quarto explora os desafios e oportunidades da transição para os veículos elétricos, considerando os impactos nas cadeias de suprimentos, no emprego e na infraestrutura, e ressaltando a necessidade de estratégias de economia circular para uma transição sustentável.

Os trabalhos 2°,7°,8°,9°,10°,11° dos autores: Castro, F. D., Cutaia, L., & Vaccari, M. (2021); Volan, T., Vaz, C. R., & Uriona-Maldonado, M. (2021); Kamath, D., Moore, S., Arsenault, R., & Anctil, A. (2023); Shafique, M., Ateeq, M., Rafiq, M., Azam, A., & Luo, X. (2023); Ojha, R., & Agarwal, A. (2024); Volan, T., Vaz, C. R., & Maldonado, M. U. (2022), têm em comum a análise do crescente mercado de veículos elétricos (VEs) e suas baterias, enfatizando a necessidade de uma economia circular para gerenciar os impactos ambientais e de recursos. O 2° aborda o aumento dos VEs no Brasil e as estratégias de gestão para baterias em fim de vida (EOL). O 7° explora a reutilização de baterias EOL como sistemas de armazenamento de energia, destacando seu potencial para melhorar a confiabilidade das energias renováveis. O 8° discute a remanufatura de baterias EOL para aplicações de armazenamento estacionário, avaliando seu impacto na sustentabilidade. O 9° avalia o manejo de baterias EOL na Ásia, destacando a importância da reciclagem para mitigar problemas na cadeia de suprimentos. Finalmente, o 10° apresenta um modelo de dinâmica de sistemas para analisar o fluxo circular de produção e consumo de VEs, oferecendo recomendações para a sustentabilidade dos recursos. Juntos, esses resumos destacam a importância da reciclagem, remanufatura e reutilização de baterias para alcançar uma economia circular e sustentável.

AUTORES	ANO	TÍTULO	REVISTA	CITAÇÕES
Alamerew, Y. A., & Brissaud, D. (2020).	2020	Modelling reverse supply chain through system dynamics for realizing the transition towards the circular economy: A case study on electric vehicle batteries	Journal of Cleaner Production	117
Castro, F. D., Cutaia, L., & Vaccari, M. (2021).	2021	End-of-life automotive lithium-ion batteries (LIBs) in Brazil: Prediction of flows and revenues by 2030	Resources, Conservation and Recycling	44
Fallah, N., Fitzpatrick, C., Killian, S., & Johnson, M. (2021).	2021	End-of-Life Electric Vehicle Battery Stock Estimation in Ireland through Integrated Energy and Circular Economy Modelling	Resources, Conservation and Recycling	28
Kurdve, M., Zackrisson, M., Johansson, M. I., Ebin, B., & Harlin, U. (2019).	2019	Considerations when modelling ev battery circularity systems	Batteries	26
Demartini, M., Ferrari, M., Govindan, K., & Tonelli, F. (2023).	2023	The transition to electric vehicles and a net zero economy: A model based on circular economy, stakeholder theory, and system thinking approach	Journal of Cleaner Production	9
Huster, S., Glöser-Chahoud, S., Rosenberg, S., & Schultmann, F. (2022).	2022	A simulation model for assessing the potential of remanufacturing electric vehicle batteries as spare parts	Journal of Cleaner Production	8
Volan, T., Vaz, C. R., & Uriona-Maldonado, M. (2021).	2021	Scenarios for end-of-life (EOL) electric vehicle batteries in China	Revista de Gestão	8

Kamath, D., Moore, S., Arsenault, R., & Anctil, A. (2023).	2023	A system dynamics model for end-of-life management of electric vehicle batteries in the US: Comparing the cost, carbon, and material requirements of remanufacturing and recycling	Resources, Conservation and Recycling	3
Shafique, M., Ateeq, M., Rafiq, M., Azam, A., & Luo, X. (2023).	2023	Prospects of recycling from end-of-life of Li-ion batteries on alleviating materials demand-supply gap in new electric vehicles in Asia	Waste Management	2
Ojha, R., & Agarwal, A. (2024).	2024	Implications of circular production and consumption of electric vehicle batteries on resource sustainability: A system dynamics perspective	Environment, Development and Sustainability	1
Volan, T., Vaz, C. R., & Maldonado, M. U. (2022).	2022	End-of-life electric vehicles batteries in Brazil: modelling ways after the first use	International Journal of Automotive Technology and Management	0

Quadro 1 – Os dez artigos mais citados

Os 11 artigos foram publicados em um total de 7 periódicos diferentes. A maior concentração desses artigos está no *Journal of Cleaner Production* e no *Resources, Conservation and Recycling*, cada um com 3 artigos, representando a maior parte das publicações. Além desses, há 1 artigo publicado em cada uma das seguintes revistas: *Waste Management*, *Journal of Environmental Management*, *Ecological Economics*, *Sustainable Production and Consumption*, e *Environmental Science and Policy*. A tabela abaixo detalha a quantidade de artigos publicados em cada periódico, fornecendo uma visão clara da distribuição das publicações entre os diferentes periódicos.

PERIÓDICOS	DOCUMENTOS	CITAÇÕES
Journal of Cleaner Production	3	134
Resources, Conservation and Recycling	3	75
Batteries	1	26
Revista de Gestão	1	8
Waste Management	1	2
Environment, Development and Sustainability	1	1
International Journal of Automotive Technology and Management	1	0

Tabela 1 – Periódicos com maior representatividade no portfólio

A produtividade dos autores foi avaliada detalhadamente. No total, foram identificados 37 autores. Dentre esses, 35 autores possuem apenas uma publicação cada, representando aproximadamente 94,59% do total. Apenas 2 autores possuem duas publicações cada, indicando uma maior frequência de contribuição. Dessa forma, é esperado que esses autores com mais publicações ofereçam contribuições mais significativas e aprofundadas para a gestão das

baterias de veículos elétricos em fim de vida, dado seu maior envolvimento e experiência no assunto.

AUTORES	DOCUMENTOS	CITAÇÕES
Alamerew Y. A.	1	117
Brissaud D.	1	117
Cutaia L.	1	44
Duarte Castro F.	1	44
Vaccari M.	1	44
Fallah N.	1	28
Fitzpatrick C.	1	28
Johnson M.	1	28
Killian S.	1	28
Ebin B.	1	26

Tabela 2 – Principais autores

Os principais autores identificados neste estudo são Alamerew Y. A. e Brissaud D., ambos com um total de 117 citações, destacando-se como os mais referenciados na área. Seguem Cutaia L., Duarte Castro F., e Vaccari M., cada um com 44 citações, também mostrando uma significativa influência na pesquisa. Em seguida, os autores Fallah N., Fitzpatrick C., Johnson M., e Killian S. possuem 28 citações cada, enquanto Ebin B. conta com 26 citações. Esses números indicam a relevância e o impacto dos trabalhos desses pesquisadores no campo de estudo. A figura 3, apresentada a seguir, ilustra a análise da rede de coautoria realizada utilizando o software VOSViewer, permitindo uma visualização clara das conexões e colaborações entre os autores mencionados, bem como seu posicionamento dentro da rede acadêmica.

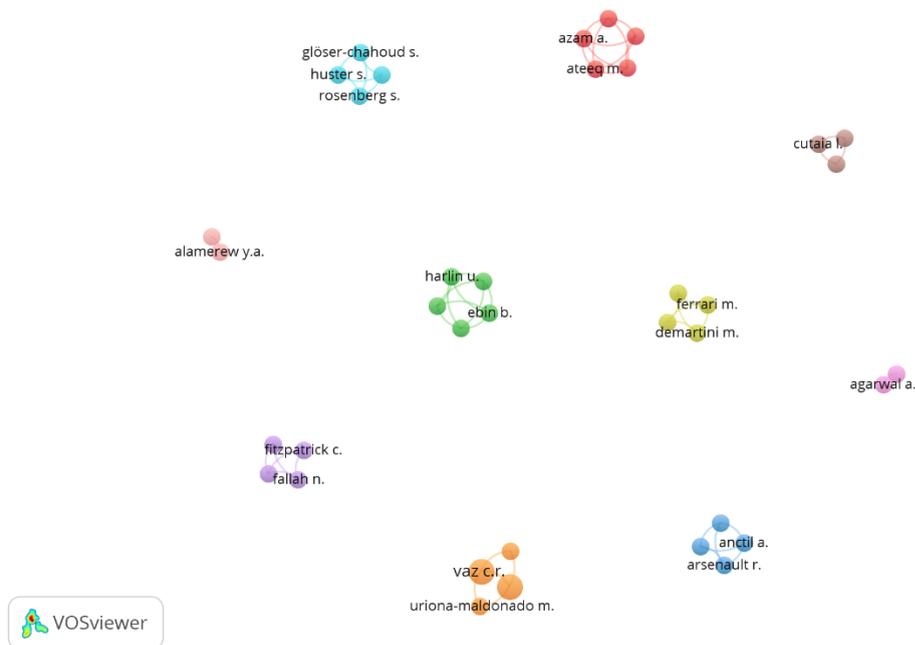


Figura 3 – Rede de co-autoria

A análise da rede de coautoria revela a relevância dos trabalhos dos autores, conforme demonstrado nas etapas anteriores, especialmente nos artigos mais citados. Essa análise permite visualizar as conexões e colaborações entre os pesquisadores, destacando aqueles com maior influência e impacto na área de estudo.

Além disso, a análise das relações entre palavras-chave identificou um total de 35 termos. As palavras-chave mais frequentemente utilizadas incluem "*electric vehicle*," "*electric vehicle batteries*," "*circular economy*," "*system dynamics*," "*end-of-life batteries*," "*lithium-ion batteries*," "*recycling*," "*remanufacturing*," e "*secondary*." Essas palavras-chave refletem os principais focos de pesquisa e as tendências atuais no campo da gestão de baterias de veículos elétricos, indicando áreas de maior interesse e investigação. A figura 3, apresentada abaixo, oferece uma visualização detalhada dessa análise de coautoria, utilizando o software VOSViewer, que ajuda a compreender melhor a interconectividade e a colaboração entre os autores e os temas mais abordados em suas pesquisas.

Índia	2	10
China	1	9
Dinamarca	1	9
Coreia do Sul	1	9
Brasil	2	8

Tabela 3 – Principais países

O estudo também analisou as principais organizações envolvidas nas pesquisas sobre baterias de veículos elétricos. Três organizações se destacaram pelo número de citações que receberam. A *Université Grenoble Alpes*, localizada na França, lidera com um total de 177 citações, evidenciando seu significativo impacto na área de estudo. A *Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development* (ENEA), situada na Itália, é a segunda mais citada, com 44 citações, refletindo sua contribuição substancial para o avanço das tecnologias e práticas sustentáveis. O *Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics da University of Brescia*, também na Itália, recebeu 44 citações, destacando-se igualmente pela sua relevância nas pesquisas sobre baterias de veículos elétricos.

A Tabela 2, apresentada a seguir, oferece uma visão abrangente de todas as principais organizações envolvidas, indicando seus países de origem, o número de artigos publicados e as citações recebidas. Essa tabela proporciona uma compreensão detalhada da distribuição institucional das pesquisas e destaca as organizações que têm maior influência e reconhecimento na área de gerenciamento de baterias de veículos elétricos.

ORGANIZAÇÕES	PAÍSES	DOCUMENTOS	CITAÇÕES
Université Grenoble Alpes	França	1	117
Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development.	Itália	1	44
Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics, University of Brescia	Itália	1	44
Department of Accounting and Finance, University of Limerick	Irlanda	1	28
Department of Electronic & Computer Engineering, University of Limerick	Irlanda	1	28
Division of Energy and Materials, Nuclear Chemistry and Industrial Materials Recycling Group, Chalmers University of Technology	Suécia	1	26
Division of Supply and Operations Management, Chalmers University of Technology	Suécia	1	26

Tabela 4 – Principais organizações

As três principais organizações são responsáveis por 65,49% do total de citações entre todas as organizações.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo fornece uma visão abrangente das tendências e contribuições na pesquisa sobre o gerenciamento de baterias de veículos elétricos em fim de vida. Os 11 artigos analisados foram publicados em 7 periódicos distintos, com uma maior concentração no *Journal of Cleaner Production* e no *Resources, Conservation and Recycling*, cada um com 3 artigos. Essa distribuição demonstra a relevância e o interesse crescente na área de economia circular e sustentabilidade dentro da comunidade científica.

A avaliação da produtividade dos autores revelou que, dos 37 autores identificados, 35 possuem apenas uma publicação, representando aproximadamente 94,59% do total, enquanto 2 autores possuem duas publicações cada. Este padrão sugere que a maioria dos autores está apenas começando a explorar esse campo, mas há uma pequena parcela de pesquisadores com maior frequência de contribuição, que tende a oferecer insights mais aprofundados e significativos.

No que tange à citação dos autores, Alamerew Y. A. e Brissaud D. destacam-se com 117 citações cada, seguidos por Cutaia L., Duarte Castro F., e Vaccari M., com 44 citações cada. Outros autores notáveis incluem Fallah N., Fitzpatrick C., Johnson M., Killian S., com 28 citações cada, e Ebin B., com 26 citações. A análise da rede de coautoria, realizada com o software VOSViewer, revelou as conexões e colaborações entre esses pesquisadores, destacando a interconectividade e o impacto de suas contribuições.

A análise das palavras-chave identificou 35 termos frequentes, com destaque para "electric vehicle," "electric vehicle batteries," "circular economy," "system dynamics," "end-of-life batteries," "lithium-ion batteries," "recycling," "remanufacturing," e "secondary." Esses termos refletem os focos principais da pesquisa e indicam as tendências emergentes no gerenciamento de baterias de veículos elétricos.

A análise dos clusters mostrou um forte desenvolvimento nas áreas de baterias de íon-lítio, práticas de economia circular (como reciclagem e remanufatura), e dinâmica de sistemas. Esses clusters são essenciais para um gerenciamento eficiente das baterias em fim de vida, alinhando-se com a temática central do estudo.

Além disso, a análise geográfica das publicações revelou que a França, com 1 artigo e 117 citações, Itália, com 2 artigos e 53 citações, e Irlanda, com 1 artigo e 28 citações, são os países com maior impacto nas pesquisas analisadas. Essa distribuição geográfica destaca a contribuição significativa de diversos países para o avanço do conhecimento na área.

Por fim, a análise das principais organizações mostrou que a Université Grenoble Alpes lidera com 177 citações, seguida pela Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development (ENEA) e o Department of Civil, Environmental, Architectural Engineering and Mathematics da University of Brescia, ambas com 44 citações. Essas instituições têm desempenhado papéis fundamentais no desenvolvimento de pesquisas inovadoras e sustentáveis.

Em resumo, o estudo destaca a crescente relevância das pesquisas sobre o gerenciamento de baterias de veículos elétricos em fim de vida, evidenciando as contribuições significativas de diversos autores, instituições e países. A análise detalhada das publicações, palavras-chave e redes de coautoria fornece uma base sólida para futuras pesquisas e práticas na área, promovendo o avanço da economia circular e da sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

- Alamerew, Y. A., & Brissaud, D. (2020). Modelling reverse supply chain through system dynamics for realizing the transition towards the circular economy: A case study on electric vehicle batteries. *Journal of Cleaner Production*, 254, 120025.
- Alasad, R., Motawa, I., & Ogunlana, S. (2013). A system dynamics-based model for demand forecasting in PPP infrastructure projects—A case of toll roads. *Organization, technology & management in construction: an international journal*, 5(Special), 0-0.
- Cao, J., Chen, X., Qiu, R., & Hou, S. (2021). Electric vehicle industry sustainable development with a stakeholder engagement system. *Technology in Society*, 67, 101771.
- Castro, F. D., Cutaia, L., & Vaccari, M. (2021). End-of-life automotive lithium-ion batteries (LIBs) in Brazil: Prediction of flows and revenues by 2030. *Resources, Conservation and Recycling*, 169, 105522.
- Demartini, M., Ferrari, M., Govindan, K., & Tonelli, F. (2023). The transition to electric vehicles and a net zero economy: A model based on circular economy, stakeholder theory, and system thinking approach. *Journal of Cleaner Production*, 410, 137031.
- Fallah, N., Fitzpatrick, C., Killian, S., & Johnson, M. (2021). End-of-life electric vehicle battery stock estimation in Ireland through integrated energy and circular economy modelling. *Resources, Conservation and Recycling*, 174, 105753.
- Forrester, J. W. (1980). Information sources for modeling the national economy. *Journal of the American Statistical Association*, 75(371), 555-566.
- Glöser-Chahoud, S., Huster, S., Rosenberg, S., Baazouzi, S., Kiemel, S., Singh, S., ... & Schultmann, F. (2021). Industrial disassembling as a key enabler of circular economy solutions for obsolete electric vehicle battery systems. *Resources, Conservation and Recycling*, 174, 105735.
- Guzzo, D., Pigosso, D. C. A., Videira, N., & Mascarenhas, J. (2022). A system dynamics-based framework for examining Circular Economy transitions. *Journal of cleaner production*, 333, 129933.
- Huster, S., Glöser-Chahoud, S., Rosenberg, S., & Schultmann, F. (2022). A simulation model for assessing the potential of remanufacturing electric vehicle batteries as spare parts. *Journal of Cleaner Production*, 363, 132225.
- Jajja, M. S. S., Hassan, S. Z., Asif, M., & Searcy, C. (2021). Manufacturing value chain for battery electric vehicles in Pakistan: An assessment of capabilities and transition pathways. *Journal of Cleaner Production*, 328, 129512.
- Jo, C., Kim, D. H., & Lee, J. W. (2023). Forecasting unemployment and employment: A system dynamics approach. *Technological Forecasting and Social Change*, 194, 122715.
- Kamath, D., Moore, S., Arsenault, R., & Anctil, A. (2023). A system dynamics model for end-of-life management of electric vehicle batteries in the US: Comparing the cost, carbon, and material requirements of remanufacturing and recycling. *Resources, Conservation and Recycling*, 196, 107061.
- Kamyabi, E., Moazzez, H., & Kashan, A. H. (2022). A hybrid system dynamics and two-stage mixed integer stochastic programming approach for closed-loop battery supply chain optimization. *Applied Mathematical Modelling*, 106, 770-798.
- Kastanaki, E., & Giannis, A. (2023). Dynamic estimation of end-of-life electric vehicle batteries in the EU-27 considering reuse, remanufacturing and recycling options. *Journal of Cleaner Production*, 393, 136349.
- Kurdve, M., Zackrisson, M., Johansson, M. I., Ebin, B., & Harlin, U. (2019). Considerations when modelling EV battery circularity systems. *Batteries*, 5(2), 40.

- Malinauskaite, J., Anguilano, L., & Rivera, X. S. (2021). Circular waste management of electric vehicle batteries: Legal and technical perspectives from the EU and the UK post Brexit. *International Journal of Thermofluids*, 10, 100078.
- Noel, L. (2017). The hidden economic benefits of large-scale renewable energy deployment: Integrating heat, electricity and vehicle systems. *Energy Research & Social Science*, 26, 54-59.
- OECD/Eurostat. (2018). Oslo Manual 2018: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation. In *The Measurement of Scientific, Technological and Innovation Activities*.
- Ojha, R., & Agarwal, A. (2024). Implications of circular production and consumption of electric vehicle batteries on resource sustainability: A system dynamics perspective. *Environment, Development and Sustainability*, 26(6), 15905-15929.
- Raven, R., & Walrave, B. (2020). Overcoming transformational failures through policy mixes in the dynamics of technological innovation systems. *Technological forecasting and social change*, 153, 119297.
- Shafique, M., Ateeq, M., Rafiq, M., Azam, A., & Luo, X. (2023). Prospects of recycling from end-of-life of Li-ion batteries on alleviating materials demand-supply gap in new electric vehicles in Asia. *Waste Management*, 171, 207-217.
- Shanmugavel, N., Alagappan, C., & Balakrishnan, J. (2022). Acceptance of electric vehicles: A dual-factor approach using social comparison theory and technology acceptance model. *Research in Transportation Business & Management*, 45, 100842.
- Thakur, J., de Almeida, C. M. L., & Baskar, A. G. (2022). Electric vehicle batteries for a circular economy: Second life batteries as residential stationary storage. *Journal of Cleaner Production*, 375, 134066.
- Vaz, C. R., & Uriona Maldonado, M. (2017). Revisão de literatura estruturada: proposta do modelo SYSMAP (Scientometric and Systematic Yielding Mapping Process). *Aplicações de Bibliometria e Análise de Conteúdo em casos da Engenharia de Produção*, 1, 21-42.
- Volan, T., Vaz, C. R., & Uriona-Maldonado, M. (2021). Scenarios for end-of-life (EOL) electric vehicle batteries in China. *Revista de Gestão*, 28(4), 335-357.
- Volan, T., Vaz, C. R., & Maldonado, M. U. (2022). End-of-life electric vehicles batteries in Brazil: modelling ways after the first use. *International Journal of Automotive Technology and Management*, 22(3), 305-323.
- Yu, Y., Xu, H., Cheng, J., Wan, F., Ju, L., Liu, Q., & Liu, J. (2022). Which type of electric vehicle is worth promoting mostly in the context of carbon peaking and carbon neutrality? A case study for a metropolis in China. *Science of the Total Environment*, 837, 155626.