

Conexão Estratégica: Explorando as Relações entre Mobilidade Elétrica e *Smart Grid* para Transformar a Mobilidade Urbana

Strategic Connection: Exploring the Relationships between Electric Mobility and Smart Grid to Transform Urban Mobility

Victor Hugo Souza de Abreu, Doutor em Engenharia de Transportes, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia.

victor@pet.coppe.ufrj.br

Márcio de Almeida D'Agosto, Professor em Engenharia de Transportes, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia.

dagosto@pet.coppe.ufrj.br

Lino Guimarães Marujo, Professor em Engenharia de Produção, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa em Engenharia.

lino@pep.ufrj.br

Resumo

A implementação da mobilidade elétrica atrelada aos chamados *Smart Grids* constitui-se em uma importante estratégia para viabilização de um sistema inovador de baixa pegada de carbono com eficiência energética para promoção de cidades sustentáveis e inteligentes. Dessa forma, este artigo busca realizar uma revisão com abordagem bibliométrica sobre o assunto, bem como destacar suas principais vantagens da combinação desses dois conceitos para promoção da mobilidade urbana sustentável. Os resultados indicam que o assunto é atual e crescente, sendo publicados em importantes periódicos científicos por autores de instituições de diversas partes do mundo. Além disso, as análises bibliográficas demonstram que o *Smart Grid* tem potencial para promover a adoção multinível da mobilidade elétrica porque, por meio das novas tecnologias de comunicação e de informações implementadas, há a possibilidade de uma melhor interação entre os sistemas que compõem a infraestrutura de mobilidade urbana sustentável.

Palavras-chave: Mobilidade Elétrica Integrada; Infraestrutura Inteligente; Adoção Multinível.

Abstract

The implementation of electric mobility linked to the so-called Smart Grids is an important strategy to enable an innovative system of low carbon footprint with energy efficiency to promote sustainable and smart cities. Thus, this article seeks to conduct a review with a bibliometric approach on the subject, as well as to highlight the main advantages of combining these two concepts to promote sustainable urban mobility. The results indicate that the subject is current and growing, being published in important scientific journals by authors from institutions all over the world. Furthermore, the literature analysis demonstrates that the Smart Grid has the potential to promote the multilevel adoption of electric mobility because, through the new communication and information technologies implemented, there is the possibility of a better interaction between the systems that make up the sustainable urban mobility infrastructure.

Keywords: *Electric Mobility Integrated; Smart Infrastructure; Multi-Level Adoption.*

1. Introdução

Atualmente, muitos fabricantes de automóveis e outras partes interessadas têm investido recursos significativos no desenvolvimento e produção de veículos elétricos, tornando a mobilidade elétrica um dos principais assuntos em todas as mídias do mundo e uma grande influenciadora de discussões e decisões políticas [1–3]; no entanto, o desenvolvimento de uma rede de recarga eficiente é uma das questões-chave para permitir a difusão promissora dessa tecnologia, que pretende revolucionar a mobilidade urbana mundial [4]. Nesse sentido, torna-se necessário adaptar o sistema de potência para acomodar novas tecnologias e novos perfis de carga e, diante desse cenário, os *Smart Grids* são uma tendência promissora nas redes elétricas mundiais [5]. A mudança para uma sociedade com baixo teor de carbono exigirá avanços em áreas paralelas: a produção de energia renovável e a mobilidade elétrica exigem *Smart Grids* para atingir seu potencial [6].

Smart Grids, ou também chamadas “redes inteligentes”, buscam transformar a rede elétrica tradicional utilizando técnicas avançadas de controle e comunicação automática e outras formas de tecnologia da informação. O objetivo principal de um *Smart Grid* é entregar a quantidade ideal de informações e controle de carga para clientes, distribuidores e operadores da rede elétrica, a fim de reduzir as demandas e custos do sistema enquanto aumenta a eficiência energética [7]. Dessa forma, este estudo tem como objetivo realizar uma revisão da literatura com abordagem bibliométrica para identificar estudos que abordam sobre os benefícios da mobilidade elétrica, que viabiliza e é viabilizada por *Smart Grid*, por meio de buscas diretas na base de dados do *Web of Science*. Tem-se ainda como objetivos específicos: (i) apresentar a evolução das publicações e citações ao longo dos anos; (ii) identificar os principais periódicos e países que mais publicam estudos sobre o assunto; (iii) verificar as palavras-chave mais recorrentes, inclusive com rede de interligação entre elas; e (iv) realizar um apanhado geral sobre os benefícios da implantação das duas tecnologias concomitantemente.

Para cumprir seus objetivos, este estudo encontra-se estruturado da seguinte forma. A Seção 1 trata da contextualização, da importância e dos objetivos do estudo. A Seção 2 trata do procedimento metodológico utilizado para condução das buscas bibliográficas, com foco na bibliometria. A Seção 3 discute sobre as análises bibliométricas. A Seção 4 descreve alguns dos principais resultados das pesquisas incluídas no repositório de pesquisa, destacando as principais potencialidades da união entre mobilidade elétrica e *Smart Grid*. E por fim, a Seção 5 contém as considerações finais, que contêm recomendações de estudos futuros.

2. Procedimento Metodológico

Este estudo consiste em uma revisão da literatura com abordagem bibliométrica para mapeamento dos principais estudos que tratam do papel do *Smart Grid* na promoção da mobilidade elétrica e vice-versa. Uma crescente quantidade de estudos tem utilizado técnicas bibliométricas em várias disciplinas para rastrear o estado da arte de um campo e sua evolução ao longo do tempo. Nesse sentido, os termos de busca, critérios de inclusão e qualificação utilizados, bem como os detalhes para a busca e extração do banco de dados, são apresentados na Tabela 1, em que TS = Tópico, que significa as palavras que são pesquisadas nos títulos, resumos e palavras-chave dos artigos.

Tabela 1: Descrição das Estratégias de Buscas.

Critério	Descrição
Tópicos	$TS = (Smart\ Grid * AND\ e-mobility) OR TS = (Smart\ Grid * AND\ electric\ vehicle *) OR TS = (Smart\ Grid * AND\ electric\ mobility)$
Base de Dados	<i>Web of Science</i>
Indexes	SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, CPCI-S, CPCI-SSH, ESCI
Inclusão	(I) Tempo de cobertura: todos os anos da base de dados (1945 – 2021); e (II) Enquadramento com o objetivo proposto.
Qualificação	(I) A pesquisa apresenta uma revisão bibliográfica bem fundamentada? (II) O estudo apresenta inovação técnica? (III) As contribuições são discutidas? (IV) As limitações são explicitamente declaradas? e (V) Os resultados e conclusões são consistentes com os objetivos pré-estabelecidos?
Data da Procura	09 de maio de 2021, as 19h00min

Optou-se por utilizar palavras-chave em inglês devido a maior quantidade de estudos relevantes em língua inglesa. Além disso, mesmo estudos publicados em outras línguas, tais como português, castelhano ou francês, apresentam, em sua maioria, pelo menos Resumo em inglês, ou seja, *Abstract*. Cabe destacar ainda que se combinou a palavra-chave *Smart Grid* com variações da mobilidade elétrica para aumentar ainda mais a abrangência amostral. Decidiu-se utilizar os bancos de dados do *Web of Science*, pertencentes ao *Clarivate Analytics*, como principal ferramenta de busca devido à sua difusão na comunidade acadêmica e à confiabilidade de seus padrões de seleção [8,9]. Além disso, essa base de dados apresenta alcance e cobertura satisfatórios [10].

Como limitação, menciona-se que o estudo utilizou apenas um banco de dados (*Web of Science*), não considerando publicações contidas em outras bases de dados como *Science Direct*, *Scielo* e *Scopus*. Além disso, é importante destacar que os termos de busca podem influenciar nos resultados, portanto, os artigos incluídos no repositório de pesquisa são limitados pelo banco de dados e os termos de busca utilizados.

3. Resultados Bibliométricos

A partir da busca realizada na base *Web of Science*, foi possível verificar que expressivas 2.806 publicações estavam aptas a serem incluídas no repositório de pesquisa, ou seja, atendiam aos critérios de inclusão e qualificação (qualidade e aplicabilidade). Nesse sentido, a Figura 1 mostra a evolução das publicações sobre o tema ao longo dos anos. Essa análise é fundamental para avaliar o nível de expansão da temática, bem como novas oportunidades de estudos. Na Figura 1, verifica-se que a primeira publicação foi registrada em 2008, com apenas 2 (0,07%) publicações, dado que demonstra que o assunto é extremamente atual. Além disso, o assunto continua em expansão, com ápice em 2018, com 352 (12,54%) publicações.

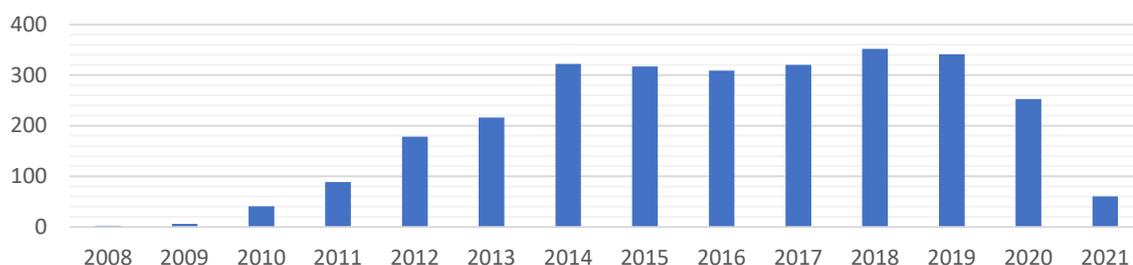


Figura 1: Evolução das publicações por ano.

Torna-se também pertinente avaliar os artigos por fonte de publicação, de modo a identificar quais são as revistas e congressos científicos que mais se interessam pelo assunto. Isso permite que pesquisadores direcionem seus esforços de publicação para meio de divulgação científica que possuem foco direto no assunto estudado, evitando perdas necessárias de tempo. Nesse sentido, a Figura 2 apresenta os periódicos com volume de publicações maior ou igual a que 36. Nela, nota-se que as fontes de publicação que mais abordam sobre o assunto são: IEEE - *Transactions On Smart Grid*, com 125 publicações, *Energies*, com 112 publicações, e IEEE - *Power And Energy Society General Meeting PESGM*, com 92 publicações. Salienta-se ainda que ao todo foi identificado que 1.352 fontes de publicação sobre o assunto, o que indica uma expressiva participação da temática no escopo de revistas e congressos relevantes.

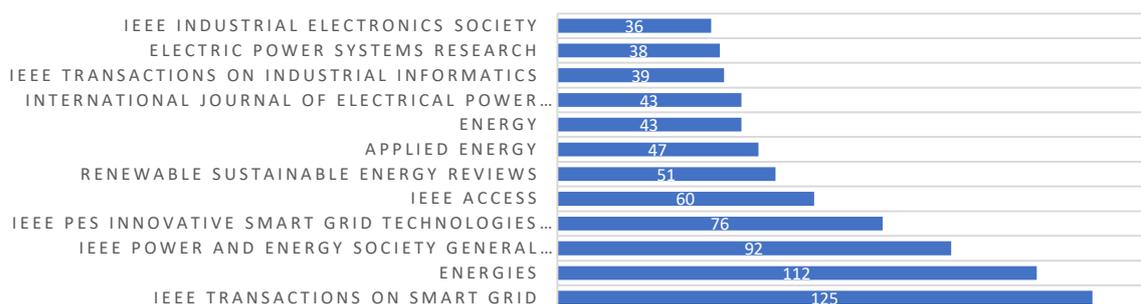


Figura 2: Principais fontes de publicação de estudos.

Também se considera pertinente avaliar quais são os países de origem das instituições de ensino dos autores que mais desenvolvem artigos relevantes sobre o assunto. Isso permite mostrar quais são os países que mais desenvolvem pesquisas sobre a temática investigada, bem como demonstrar carência de investimentos em outras nações. Dessa forma, os países com maior número de publicações se encontram identificados na Figura 3, desenvolvida com auxílio do *Software Tableau*.

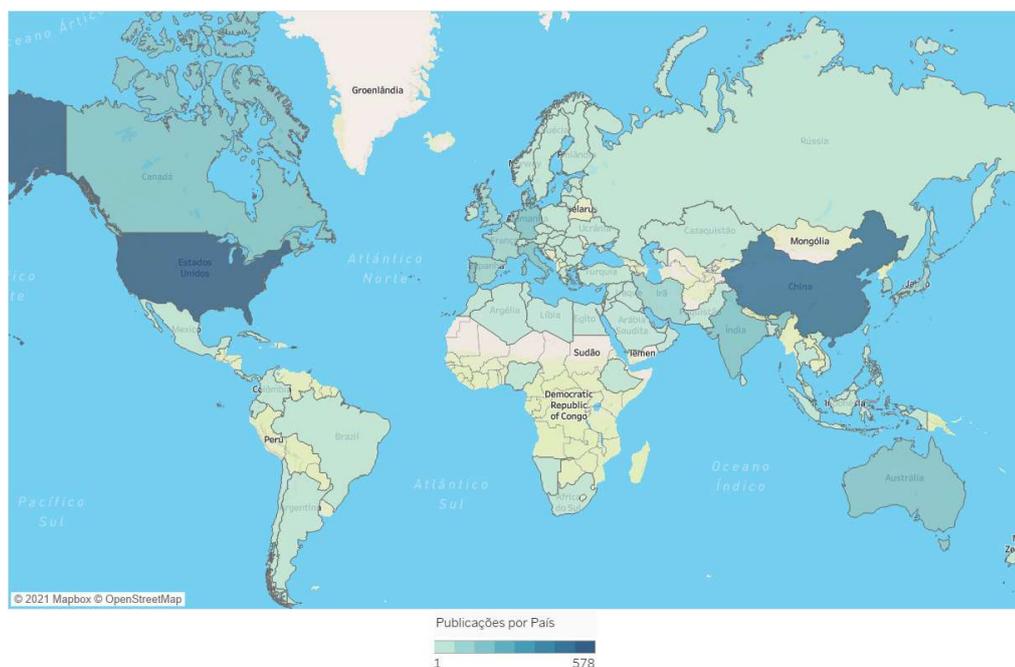


Figura 3: Principais países.

expressivas 12050 citações. Esses dados mostram, mais uma vez, que o interesse pelo assunto continua em expansão.

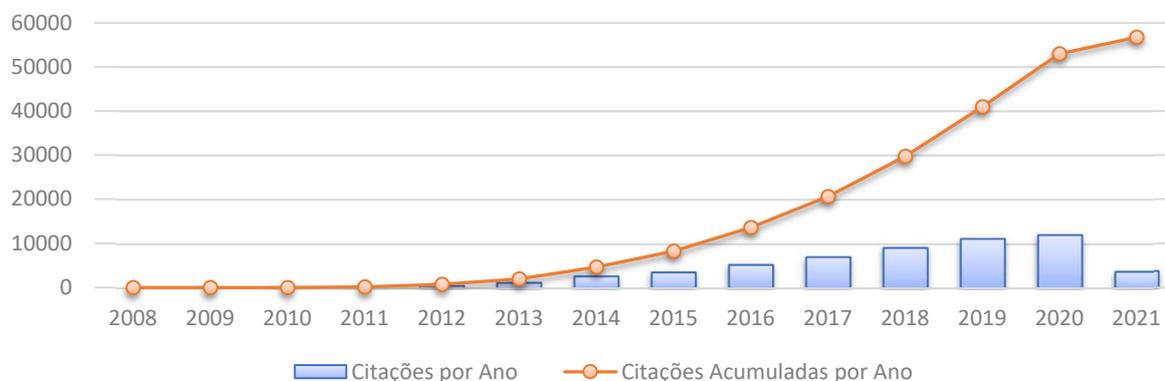


Figura 5: Evolução das citações por ano.

Ainda é possível determinar a dispersão das citações dos estudos mais relevantes da base de dados por meio da Figura 6. Nela, é possível identificar como as citações de cada um dos 10 estudos mais citados (TOP 10) se distribuem ao longo dos anos. Nesse sentido, nota-se que o estudo de Deilami *et al.* [11] é o mais expressivo da base de dados, com certa estabilidade de citações desde 2012 até os dias atuais, além disso, também pode-se destacar outras publicações como Tie & Tan [12] e Su *et al.* [13], que ocupam parte considerável do gráfico.

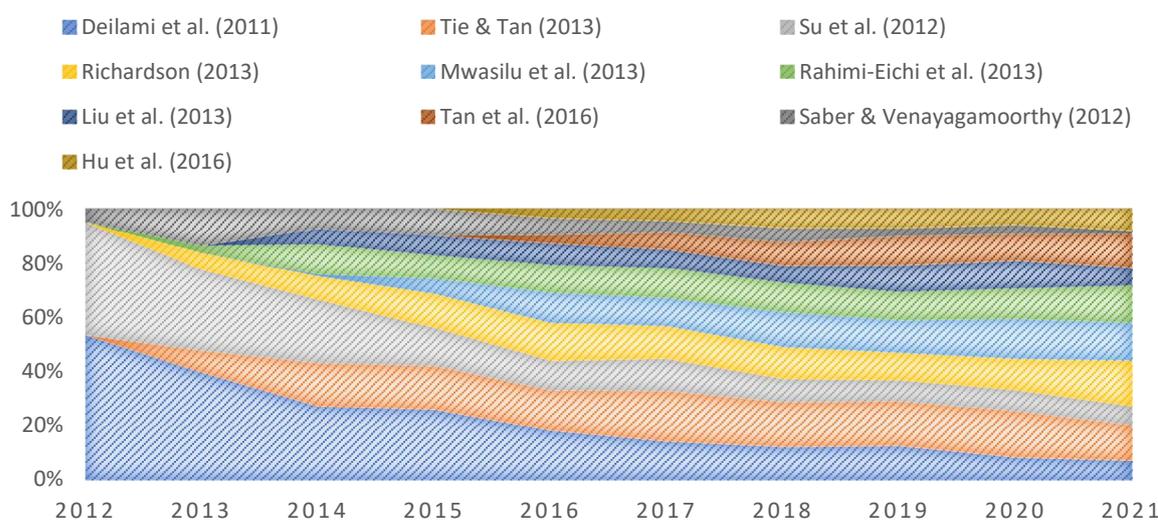


Figura 6: Distribuição das citações dos estudos mais relevantes por ano (TOP 10) [1,6,11–18].

4. Vantagens Decorrentes da Integração entre Mobilidade Elétrica e *Smart Grid*

As modernas infraestruturas de rede empregadas nos *Smart Grids*, podem desempenhar um papel fundamental na viabilização de serviços urbanos inovadores, sustentáveis e de fácil utilização por parte de todos os envolvidos no negócio, permitindo eficiência energética, sistemas de baixa pegada de carbono e uma cidade mais eficiente quanto ao uso [6], aspectos essenciais para o desenvolvimento de uma *Smart City*. *Smart Grid* é assim uma rede elétrica capaz de integrar ações de todas as partes interessadas (por exemplo, clientes, fornecedores, governo etc.) de forma a possibilitar a recarga de energia elétrica de forma sustentável [19].

Os *Smart Grids* são essenciais para integrar múltiplas formas de geração distribuída de energia elétrica de fonte renovável, diversificando a matriz energética, reduzindo as perdas na transmissão e melhorando a confiabilidade, segurança e eficiência do sistema de potência [14,20]. Essas características são alcançadas por meio de controles automatizados, infraestrutura de comunicação moderna e tecnologias de sensoriamento, monitoramento e gerenciamento de energia, que se relacionam com a Internet das Coisas – IoT¹ [21].

A disponibilidade irregular da maioria das fontes de energias renováveis exige o armazenamento de eletricidade, geralmente feito com baterias dedicadas. Com o auxílio de sistemas avançados de gerenciamento do sistema elétrico baseados em *Smart Grid*, as baterias podem ser empregadas no armazenamento de energia elétrica e auxiliar como “reserva de energia rotativa”, quando ocorrem os picos de demanda se, por exemplo, usando os recursos dos veículos elétricos que estiverem inativos [4]. De maneira complementar, para os fornecedores de energia elétrica, a eletrificação de veículos oferece uma forma de solucionar a demanda de pico, oferecendo um suporte à estabilidade da rede local, sem ter a necessidade de intervir em instalações de produção de energia distantes, reduzindo assim o peso na estrutura da rede nos horários de pico [6,22].

Além disso, quando os veículos elétricos forem progressivamente integrados em *Smart Grids*, grandes quantidades de dados e informações estarão disponíveis para todos os envolvidos com infraestrutura e sistemas de comunicação, fornecendo novas oportunidades para as empresas que atuam no setor automotivo, como por exemplo, influenciando a competitividade, as participações de mercado, os modelos de negócios e as estratégias de marketing dos atuais fabricantes de automóveis [4].

Segundo Curiale [19], os *Smart Grids* devem: (i) modernizar o sistema de energia por meio de projetos de autocura, automação, monitoramento e controle remotos; (ii) informar e educar os consumidores sobre o uso de energia, custos e opções alternativas, para capacitá-los a tomar decisões de forma autônoma sobre como e quando usar eletricidade e combustíveis; e (iii) fornecer integração segura e confiável de recursos de energia renovável e distribuída. Tudo isso se soma a uma infraestrutura de suprimento de energia mais confiável, sustentável e resiliente.

A visão dos *Smart Grids* combina a utilização da tecnologia tradicional com soluções digitais inovadoras que tornam mais flexível a gestão da rede de distribuição existente, por meio de uma troca de informações mais eficaz [16]. As redes de eletricidade são renovadas para melhor acomodar o fluxo de todas as fontes de energia, principalmente as renováveis, otimizam fluxos de eletricidade, possibilitam novos serviços como mobilidade elétrica e demanda ativa [19]. Nesse sentido, as conexões entre os veículos elétricos e o *Smart Grid* são ilustradas na Figura 7.

No esquema apresentado na Figura 7, desenvolvido por Dileep [23], o operador de rede (rotulado como ISO) recebe energia elétrica de seus fornecedores/geradores de energia elétrica (usinas eólicas, usinas solares, usinas hidrelétricas etc.) e transmite-a para a infraestrutura urbana (consumidores/clientes) por meio do *Smart Grid*. Essa transmissão de energia pode ser fornecida aos veículos elétricos, tanto em pontos de recargas individuais (residências, por exemplo), quanto em estacionamentos que apresentam estações de recarga coletiva. Cabe

¹ A Internet das Coisas conecta os objetos do mundo real com o virtual e, desta forma, permite a conectividade a qualquer hora e em qualquer lugar para qualquer coisa e não apenas para qualquer pessoa. Isto refere-se a um mundo onde objetos físicos e seres, bem como dados e ambientes virtuais, todos interagem uns com os outros no mesmo espaço e tempo (SUNDMAEKER et al., 2010).

mencionar que todos os tipos de veículos elétricos como bicicletas, patinetes, automóveis e ônibus podem ser carregados por meio dos *Smart Grids*.

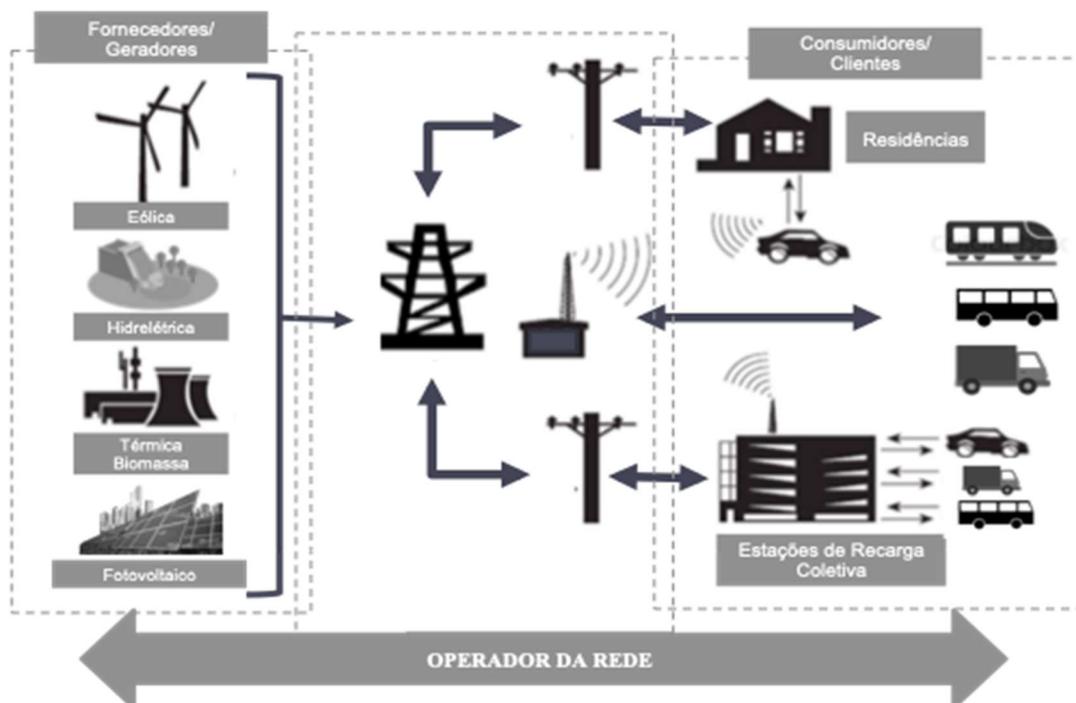


Figura 7: Estrutura de relacionamento entre *Smart Grid* e mobilidade elétrica.

Fonte: Adaptado de Dileep [23].

A infraestrutura para carregamento de veículos elétricos continua em expansão. Em 2019, havia cerca de 7,3 milhões de carregadores em todo o mundo, dos quais cerca de 6,5 milhões eram carregadores lentos para veículos leves particulares em residências unifamiliares, edifícios com várias residências e locais de trabalho, em função de benefícios como conveniência, economia e uma variedade de políticas de suporte (como taxas preferenciais, incentivos para compra de equipamentos e descontos) [24].

Além disso, os próprios veículos elétricos podem servir para o armazenamento e posterior fornecimento de energia elétrica (em um fluxo bidirecional), quando o sistema necessitar e enviar um sinal de controle [17]. Isso indica que há dois tipos possíveis de interações de energia entre o veículo e a rede elétrica: (i) G2V (do inglês, *Grid to Vehicle*), que consiste em uma rede elétrica que fornece energia ao veículo elétrico plug-in por meio de uma porta de carga; e (ii) V2G (do inglês, *Vehicle to Grid*), em que um veículo é capaz de fornecer energia de volta à rede elétrica, ou seja, armazena energia que é usada para compensar picos e vales no fornecimento e na demanda de eletricidade e, assim, ajudar a otimizar o gerenciamento da rede [15].

De acordo com Dileep [23], existem três versões principais do conceito V2G, todos envolvendo uma bateria a bordo, que são: (i) um veículo híbrido ou com pilha a combustível (conjunto de células a combustível); (ii) um veículo híbrido alimentado por bateria ou um veículo elétrico a bateria plug-in; ou (iii) um veículo solar. A tecnologia V2G pode ser empregada, transformando cada veículo com sua bateria de 20 a 50 kWh em um dispositivo de balanceamento de carga distribuída ou fonte de energia de emergência.

Além de fornecedores de energia elétrica, empresa detentora do serviço de *Smart Grid* e consumidores/clientes, outras Partes Interessadas também exercem influência no processo de relacionamento entre *Smart Grid* e mobilidade elétrica, tais como o governo, os órgãos reguladores, a sociedade em geral, a comunidade afetada, entre outros. A integração entre a mobilidade elétrica e a rede de distribuição de energia urbana em uma estrutura de *Smart Grid* pode favorecer a construção de um ecossistema de múltiplas partes interessadas e multi Internet (Internet da Informação², Internet da Energia³ e IoT) com recursos de computação de ponta suportados, por exemplo, por serviços em nível de nuvem e com mapeamento limpo entre as entidades lógicas e físicas envolvidas e suas partes interessadas [25,26].

Destaca-se ainda que o *Smart Grid* tem potencial para promover a adoção multinível da mobilidade elétrica porque, por meio das novas tecnologias de comunicação e de informações implementadas, há a possibilidade de uma melhor interação entre os sistemas que compõem a infraestrutura de mobilidade urbana, permitindo vários níveis de acesso às facilidades de transporte, que possibilitam que um mesmo usuário possa fazer uso de diferentes níveis de veículos elétricos (bicicletas, patinetes, scooters, automóveis, ônibus, etc.) de maneira integrada e inteligente em cidades de diferentes portes e perfis tecnológicos [26].

Uma *Smart City* que combina mobilidade elétrica multinível e *Smart Grids* pode ajudar a superar os limites e contradições do atual modelo de desenvolvimento urbano, caracterizado por uma má conexão entre os diferentes recursos disponíveis. No entanto, ela não deve ser vista apenas como uma lista de soluções, mas como uma abordagem holística plurianual, portanto, baseada tanto no planejamento de projetos e investimentos com um horizonte temporal de médio a longo prazo, quanto no envolvimento de múltiplas partes interessadas [27].

Por meio dessa adoção multinível da mobilidade elétrica, espera-se que o sistema de atendimento ao cliente como um todo melhore em nível de serviço (acessibilidade, tempo de viagem, conforto, segurança etc.) e com integração tarifária e redução de custo do serviço [26,28–30]. Num sistema de *Smart Grid* eficiente, aberto e em constante evolução, os clientes tornam-se protagonistas graças à utilização de suportes eletrônicos que tornam o consumo transparente, incentivam a participação ativa no mercado energético, melhoram o nível de serviço e promovem o uso consciente da energia [19].

Nesse sentido, de acordo com Dileep [23], o *Smart Grid* tem potencial para: (i) reduzir os preços da eletricidade pagos pelos consumidores; (ii) melhorar a acessibilidade aos serviços pelos consumidores; (iii) aumentar as oportunidade de escolha de oferta e informação transmitida ao consumidor; (iv) integrar recursos renováveis / não convencionais de energia distribuída; (v) melhorar a segurança, reduzindo as consequências e a probabilidade de desastres naturais e ataques feitos pelo homem; (vi) facilitar maior penetração de fontes alternadas de geração de energia; (vii) reduzir perda de vidas e ferimentos em eventos relacionados à rede elétrica, reduzindo assim os problemas de segurança; (viii) melhorar a eficiência geral, reduzindo perdas e desperdício de energia; e (ix) diminuir a poluição ambiental ao reduzir a emissão de gases de efeito estufa e poluentes atmosféricos e fornecer energia mais limpa ao promover a implantação de recursos renováveis de energia distribuída.

² A Internet da Informação se tornou uma das principais bases de nossos sistemas socioeconômicos, permitindo a troca de informações. O objetivo principal da Internet da informação é mover informações de um local para outro para reduzir a disparidade de informações.

³ A Internet de Energia é um termo tecnológico que se refere à atualização e automatização de infraestruturas de eletricidade para produtores e fabricantes de energia. Isso permite que a produção de energia avance de forma mais eficiente e limpa, com o mínimo de desperdício.

Segundo o Department of Energy & Climate Change [31], à medida que o *Smart Grid* evolui, haverá papéis mais ativos para os clientes de diferentes perfis - por exemplo, os clientes domésticos com medidores inteligentes podem escolher tarifas e fazer uso de aparelhos inteligentes que mudam a demanda nos horários de pico (por exemplo, veículos elétricos podem ser abastecidos em horários com menor demanda por energia e, conseqüentemente, uma menor taxa pelo consumo de energia pode ser direcionada ao cliente); grandes clientes industriais e comerciais podem participar de uma ampla gama de esquemas de resposta à demanda e do mercado de capacidade e geradores de pequena escala podem participar de esquemas de resposta à demanda e do mercado de capacidade ajustando a exportação para uma rede.

Os *Smart Grids* são, assim, a chave para o sucesso de uma nova ideia de vida urbana: avançada, compartilhada e sustentável [15]. Num sistema de rede elétrica inteligente, aberto e em constante evolução, os clientes tornam-se protagonistas graças à utilização de suportes eletrônicos que tornam o consumo transparente, incentivam a participação ativa no mercado energético e promovem o uso consciente da energia [19]. Estas redes de eletricidade atualizadas com medição inteligente e capacidades de monitoramento, bem como uma comunicação digital bidirecional entre fornecedor e consumidor, apresentam capacidade de prever e responder de forma inteligente ao comportamento e ações de todos os usuários conectados a eles, resultando na entrega eficiente de dados confiáveis, econômicos, e serviços de suprimento de eletricidade sustentáveis [32].

Entretanto, cabe mencionar ainda que para que todos os benefícios mencionados anteriormente sejam atendidos, faz-se necessário aumentar o campo de aplicação das tecnologias por meio da conscientização dos consumidores, principalmente daqueles que não conseguem encontrar informações relevantes ou são expostos a informações confusas, indignas de confiança ou conflitante sobre a utilização de veículos elétricos, que reduzem as taxas de sua difusão e aceitação [33,34]. Isso porque as formas como os indivíduos percebem subjetivamente a inovação tecnológica e como estas podem ser integradas em suas vidas cotidianas moldam os processos de difusão [35].

Dessa forma, as soluções para mudar os hábitos de transporte e preferências dos usuários finais requerem uma abordagem integrada [36], especialmente na concepção de modelos para encorajar os usuários a fazer uma transição mais rápida para a mobilidade elétrica, estando ciente das restrições técnicas, econômicas e sociais ao criar esses modelos [37].

5. Considerações Finais

Este trabalho tem como objetivo coletar, reunir e avaliar os principais estudos sobre a implementação da mobilidade elétrica em paralelo ao desenvolvimento de *Smart Grids* por meio de revisão bibliográfica com abordagem bibliométrica. Os resultados bibliométricos mostram que o assunto continua em expansão com ápice de publicações em 2018 e de citações em 2020, dez anos após sua primeira publicação. Nota-se ainda que periódicos com elevado fator de impacto publicaram estudos sobre o assunto, inclusive alguns destes possuem foco nesta temática como o IEEE - *Transactions On Smart Grid*, que é o mais recorrente da base de dados.

Além disso, neste artigo, buscou-se destacar como os conceitos de mobilidade elétrica e *Smart Grid* se complementam e promovem o potencial tecnológico para o desenvolvimento de cidades sustentáveis e inteligente, com enfoque na qualidade do sistema e no protagonismo dos usuários, que inclusive podem se tornar fornecedores de eletricidade ao sistema. Frente a necessidade de novas pesquisas sobre o assunto, aconselha-se realizar mais estudos sobre a temática, que, principalmente no Brasil, ainda carece de pesquisa relacionada, por meio de

revisões bibliográficas (narrativas ou sistemáticas), inclusive com enfoque na segurança da rede e dos usuários, e de aplicação (estudo de caso de projetos de *Smart Grid* e mobilidade elétrica em fase de concepção).

Agradecimentos

Os autores deste estudo gostariam de expressar sua gratidão pelo generoso apoio fornecido pela Empresa NeoEnergia durante a execução do Projeto "Externalidades das redes elétricas inteligentes - Estudo de caso Atibaia, Sprint 2 - Mobilidade elétrica".

Referências

- [1] LIU, C.; CHAU, K.T.; WU, D.; GAO, S. Opportunities and Challenges of Vehicle-to-Home, Vehicle-to-Vehicle, and Vehicle-to-Grid Technologies. **Proceedings of the IEEE** **2013**, 101, 2409–2427, doi:10.1109/JPROC.2013.2271951.
- [2] MORTE, M. E-Mobility and Multiagent Systems in Smart Grid. In Proceedings of the 2016 **17th International Scientific Conference on Electric Power Engineering (EPE)**; IEEE, May 2016; pp. 1–4.
- [3] SANTOS, A.S.; DE ABREU, V.H.S.; DE ASSIS, T.F.; RIBEIRO, S.K.; RIBEIRO, G.M. An Overview on Costs of Shifting to Sustainable Road Transport: A Challenge for Cities Worldwide. In **Environmental Footprints and Eco-Design of Products and Processes**; Springer, 2021; pp. 93–121.
- [4] ALA, G.; DI FILIPPO, G.; VIOLA, F.; GIGLIA, G.; IMBURGIA, A.; ROMANO, P.; CASTIGLIA, V.; PELLITTERI, F.; SCHETTINO, G.; MICELI, R. Different Scenarios of Electric Mobility: Current Situation and Possible Future Developments of Fuel Cell Vehicles in Italy. **Sustainability** **2020**, 12, 564, doi:10.3390/su12020564.
- [5] DI SANTO, K.G.; KANASHIRO, E.; DI SANTO, S.G.; SAIDEL, M.A. A Review on Smart Grids and Experiences in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** **2015**, 52, 1072–1082, doi:10.1016/j.rser.2015.07.182.
- [6] HU, J.; MORAIS, H.; SOUSA, T.; LIND, M. Electric Vehicle Fleet Management in Smart Grids: A Review of Services, Optimization and Control Aspects. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** **2016**, 56, 1207–1226, doi:10.1016/j.rser.2015.12.014.
- [7] CECATI, C.; MOKRYANI, G.; PICCOLO, A.; SIANO, P. An Overview on the Smart Grid Concept. In **Proceedings of the IECON 2010 - 36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society**; IEEE, November 2010; pp. 3322–3327.
- [8] CAVIGGIOLI, F.; UGHETTO, E. A Bibliometric Analysis of the Research Dealing with the Impact of Additive Manufacturing on Industry, Business and Society. **Int J Prod Econ** **2019**, 208, 254–268.
- [9] AMEEN, W.; GHALEB, A.M.; ALATEFI, M.; ALKHALEFAH, H.; ALAHMARI, A. An Overview of Selective Laser Sintering and Melting Research Using Bibliometric Indicators. **Virtual Phys Prototyp** **2018**, 13, 282–291.
- [10] CHEN, X. The Declining Value of Subscription-Based Abstracting and Indexing Services in the New Knowledge Dissemination Era. **Serials Review** **2010**, 36, 79–85, doi:10.1080/00987913.2010.10765288.

- [11] DEILAMI, S.; MASOUM, A.S.; MOSES, P.S.; MASOUM, M.A.S. Real-Time Coordination of Plug-In Electric Vehicle Charging in Smart Grids to Minimize Power Losses and Improve Voltage Profile. **IEEE Trans Smart Grid** **2011**, 2, 456–467, doi:10.1109/TSG.2011.2159816.
- [12] TIE, S.F.; TAN, C.W. A Review of Energy Sources and Energy Management System in Electric Vehicles. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** **2013**, 20, 82–102, doi:10.1016/j.rser.2012.11.077.
- [13] SU, W.; EICHI, H.; ZENG, W.; CHOW, M.-Y. A Survey on the Electrification of Transportation in a Smart Grid Environment. **IEEE Trans Industr Inform** **2012**, 8, 1–10, doi:10.1109/TII.2011.2172454.
- [14] RICHARDSON, D.B. Electric Vehicles and the Electric Grid: A Review of Modeling Approaches, Impacts, and Renewable Energy Integration. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** **2013**, 19, 247–254, doi:10.1016/j.rser.2012.11.042.
- [15] MWASILU, F.; JUSTO, J.J.; KIM, E.-K.; DO, T.D.; JUNG, J.-W. Electric Vehicles and Smart Grid Interaction: A Review on Vehicle to Grid and Renewable Energy Sources Integration. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** **2014**, 34, 501–516, doi:10.1016/j.rser.2014.03.031.
- [16] RAHIMI-EICHI, H.; OJHA, U.; BARONTI, F.; CHOW, M.-Y. Battery Management System: An Overview of Its Application in the Smart Grid and Electric Vehicles. **IEEE Industrial Electronics Magazine** **2013**, 7, 4–16, doi:10.1109/MIE.2013.2250351.
- [17] TAN, K.M.; RAMACHANDARAMURTHY, V.K.; YONG, J.Y. Integration of Electric Vehicles in Smart Grid: A Review on Vehicle to Grid Technologies and Optimization Techniques. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** **2016**, 53, 720–732, doi:10.1016/j.rser.2015.09.012.
- [18] SABER, A.Y.; VENAYAGAMOORTHY, G.K. Resource Scheduling Under Uncertainty in a Smart Grid With Renewables and Plug-in Vehicles. **IEEE Syst J** **2012**, 6, 103–109, doi:10.1109/JSYST.2011.2163012.
- [19] CURIALE, M. From Smart Grids to Smart City. **In Proceedings of the 2014 Saudi Arabia Smart Grid Conference (SASG)**; IEEE, December 2014; pp. 1–9.
- [20] CARVALHO, M.; PEREZ, C.; GRANADOS, A. An Adaptive Multi-Agent-Based Approach to Smart Grids Control and Optimization. **Energy Systems** **2012**, 3, 61–76, doi:10.1007/s12667-012-0054-0.
- [21] GUNGOR, V.C.; SAHIN, D.; KOCAK, T.; ERGUT, S.; BUCCELLA, C.; CECATI, C.; HANCKE, G.P. Smart Grid Technologies: Communication Technologies and Standards. **IEEE Trans Industr Inform** **2011**, 7, 529–539, doi:10.1109/TII.2011.2166794.
- [22] AZIZ, M.; ODA, T.; ITO, M. Battery-Assisted Charging System for Simultaneous Charging of Electric Vehicles. **Energy** **2016**, 100, 82–90, doi:10.1016/j.energy.2016.01.069.
- [23] DILEEP, G. A Survey on Smart Grid Technologies and Applications. **Renew Energy** **2020**, 146, 2589–2625, doi:10.1016/j.renene.2019.08.092.
- [24] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA **Global EV Outlook 2020**, IEA, Paris.; 2020;

- [25]D'ELIA, A.; VIOLA, F.; MONTORI, F.; DI FELICE, M.; BEDOGNI, L.; BONONI, L.; BORGHETTI, A.; AZZONI, P.; BELLAVISTA, P.; TARCHI, D.; et al. Impact of Interdisciplinary Research on Planning, Running, and Managing Electromobility as a Smart Grid Extension. **IEEE Access** **2015**, 3, 2281–2305, doi:10.1109/ACCESS.2015.2499118.
- [26]DE ABREU, V.H.S.; D'AGOSTO, M. DE A.; ANGELO, A.C.M.; MARUJO, L.G.; CARNEIRO, P.J.P. Action Plan Focused on Electric Mobility (APOEM): A Tool for Assessment of the Potential Environmental Benefits of Urban Mobility. **Sustainability** **2023**, 15, 10218, doi:10.3390/su151310218.
- [27]RUGGIERI, R.; RUGGERI, M.; VINCI, G.; POPONI, S. Electric Mobility in a Smart City: European Overview. **Energies (Basel)** **2021**, 14, 315, doi:10.3390/en14020315.
- [28]DE ASSIS, T.F.; MONTEIRO, T.G.M.; DE ABREU, V.H.S.; D'AGOSTO, M. DE A.; SANTOS, A.S. Enabling the Green Bonds Market for Sustainable Transport Projects Based on the Measure/Monitoring, **Reporting and Verification Method**. In; 2022; pp. 1–24.
- [29]DE ASSIS, T.F.; RICCI, L.M.; MONTEIRO, T.G.M.; DE ABREU, V.H.S.; D'AGOSTO, M. DE A.; SANTOS, A.S. Sustainable Transport Indicators and Mitigation Actions Applied to the Green Bond Principles. In; 2022; pp. 139–169.
- [30]DA COSTA, M.G.; DE ABREU, V.H.S.; DE ASSIS, T.F.; DA COSTA, V.X.; DE ALMEIDA D'AGOSTO, M.; SANTOS, A.S. Life Cycle Assessment and Circular Economy Strategies for Electric Vehicle: A Systematic Review on Mitigating Climate Change and Reducing Resource Depletion in Road Transportation. In **Environmental Footprints and Eco-Design of Products and Processes**; Springer, 2022; pp. 113–137.
- [31]Department Of Energy & Climate Change Smart Grid Vision and Routemap.; 2014;
- [32]European Commission E-Mobility and Smart Grids at the JRC. The European Commission's in-House Science Service.; 2011;
- [33]AUGENSTEIN, K. Analysing the Potential for Sustainable E-Mobility – The Case of Germany. **Environ Innov Soc Transit** **2015**, 14, 101–115, doi:10.1016/j.eist.2014.05.002.
- [34]BIRESSELIOGLU, M.E.; DEMIRBAG KAPLAN, M.; YILMAZ, B.K. Electric Mobility in Europe: A Comprehensive Review of Motivators and Barriers in Decision Making Processes. **Transp Res Part A Policy Pract** **2018**, 109, 1–13, doi:10.1016/j.tra.2018.01.017.
- [35]COSTA, E.; HORTA, A.; CORREIA, A.; SEIXAS, J.; COSTA, G.; SPERLING, D. Diffusion of Electric Vehicles in Brazil from the Stakeholders' Perspective. **Int J Sustain Transp** **2021**, 15, 865–878, doi:10.1080/15568318.2020.1827317.
- [36]KÜNLE, E.; MINKE, C. Macro-Environmental Comparative Analysis of e-Mobility Adoption Pathways in France, Germany and Norway. **Transp Policy (Oxf)** **2022**, 124, 160–174, doi:10.1016/j.tranpol.2020.08.019.
- [37]PAVIĆ, I.; PANDŽIĆ, H.; CAPUDER, T. Electric Vehicle Based Smart E-Mobility System – Definition and Comparison to the Existing Concept. **Appl Energy** **2020**, 272, 115153, doi:10.1016/j.apenergy.2020.115153.