

SISTEMAS DE GERENCIAMENTO DE ENERGIA: UMA REVISÃO

ENERGY MANAGEMENT SYSTEMS: A REVIEW

Matias Alles Hubert², Maurício de Campos³, João Manoel Lenz Viana⁴

¹ Projeto de pesquisa desenvolvido na Unijuí

² Bolsista Taxa PROSUC/CAPES; Estudante do curso de Pós-Graduação em Modelagem Matemática e Computacional da Unijuí

³ Prof. Dr. do Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática e Computacional da Unijuí

⁴ Prof. Dr. do Programa de Pós-Graduação em Modelagem Matemática e Computacional da Unijuí

RESUMO

A redução das emissões de CO₂ é uma das metas mundiais para um ambiente global mais sustentável. Atualmente o setor residencial é responsável por cerca de 40% dessas emissões, principalmente em função da energia elétrica demandada. Assim, é necessário maior eficiência energética desse setor para que consequentemente haja uma redução nas emissões correlatas. A demanda residencial mantém tendência de alta, principalmente pela mudança de hábitos do consumidor com a pandemia do Covid-19, especialmente pelo *home office*, e pela inclusão de novas tecnologias, como veículos elétricos (VEs). Esse incremento da demanda, além de aumentar as emissões de CO₂, acarretará na sobrecarga do sistema elétrico atual, visto que o mesmo não foi projetado para um cenário com VEs. Portanto, aliada a essa preocupação ambiental e técnica, a popularização e o crescimento das tecnologias de energias renováveis como geração distribuída em um cenário de *Smart Grid* contendo veículos elétricos, nos guia a elaboração de sistemas que gerenciam o fluxo de potência residencial, a fim de melhorar a eficiência do atual, mas principalmente do futuro sistema elétrico de potência. Dessa forma, é apresentado neste trabalho um estado da arte acerca de sistemas de gerenciamento de energia, classificações, limitações e desafios.

Palavras-chave: Veículos elétricos; Redes inteligentes; Sistemas de gerenciamento de energia.

ABSTRACT

Reducing CO₂ emissions is one of the world's goals for a more sustainable global environment. Currently, the residential sector is responsible for about 40% of these emissions, mainly due to the electricity demand. Thus, greater energy efficiency is needed in this sector so that there is a reduction in related emissions. Residential demand maintains an upward trend, mainly due to the change in consumer habits with the Covid-19 pandemic, especially the home office, and the inclusion of new technologies, such as electric vehicles (EVs). This increase in demand, in addition to increasing CO₂ emissions, will result in overloading the current electrical system, as it was not designed for a scenario with EVs. Therefore, allied to this environmental and technical concern, the popularization and growth of renewable energy technologies such as distributed generation in a Smart Grid scenario containing electric vehicles, guides us in the elaboration of systems that manage the flow of residential power, in order to improve the

efficiency of the current, but mainly of the future electric power system. Thus, this work presents a state of the art about energy management systems, classifications, limitations and challenges.

Keywords: Electric vehicles; Smart Grids; Energy management systems.

INTRODUÇÃO

As emissões de CO₂ relacionadas à demanda energética de edifícios residenciais tem crescido nos últimos anos, mesmo após uma pequena estabilização entre 2013 e 2016. Essas emissões contabilizam cerca de 40% do total de emissões de CO₂, direta e indiretamente (IEA, 2020). Desde 1990, o Brasil mais que dobrou as emissões de CO₂ provenientes dos setores de energia, impulsionadas pelo crescimento industrial, mas, principalmente pela baixa eficiência energética do país (IEA, 2020). Dessa forma, o Brasil possui papel fundamental no combate ao aquecimento global, pois, é um dos países com maior potencial em fontes de energias renováveis em todo o mundo, além de possuir amplo território para aplicação de tecnologias energéticas mais eficientes e menos poluentes.

Uma solução, comprovadamente efetiva, para a redução das emissões de gases poluentes é a eletrificação dos meios de transportes, sendo este um dos principais objetivos mundiais para a contribuição no combate ao aquecimento global. Para isso, faz-se necessário a substituição massiva dos veículos a combustão por veículos híbridos ou totalmente elétricos (ERTRAC, 2017). Porém, a inclusão dos veículos elétricos (VEs) introduz uma nova carga à rede elétrica e conseqüentemente a demanda residencial. Esse incremento deve acarretar na sobrecarga do sistema elétrico atual, conforme análise probabilística da inserção de veículos elétricos apresentada por Sausen *et al* (2017).

Conforme IEA (2020), em 2019 a maior parte do carregamento de veículos elétricos, cerca de 6.5 milhões do total de 7.3 milhões carregadores espalhados pelo mundo, continuam sendo em residências ou em locais de trabalho, visto que esses são os locais onde os VEs passam a maior parte do tempo sem uso. Assim, nota-se que existe uma tendência dessa carga se concentrar em edifícios comerciais ou em residências.

A utilização de sistemas de gerenciamento de energia (*Energy Management Systems*) - *EMS*), surgem como uma solução para manejar essa nova carga e também como incremento na eficiência energética residencial, melhorando o fluxo de potência entre residência, geração distribuída e rede de distribuição (RAFIQUE *et al*, 2021). Os *EMSs* são componentes das *Smart*



Grids, permitindo a participação do consumidor final no sistema de energia, através da flexibilização do fluxo de potência da carga e da geração residencial com a rede.

METODOLOGIA

Através da revisão da literatura é possível delinear o estado do tema, bem como definir o sistema de gerenciamento de energia mais efetivo para um cenário residencial urbano. Busca-se um modelo que seja capaz de gerenciar o fluxo de potência entre residência e rede com maior eficiência, evitando que a adição de novos perfis de carga, com por exemplo os VEs, sobrecarregam a da rede e, também, diminuindo os custos com energia elétrica, sem afetar o padrão de consumo das residências. Esse trabalho apresenta uma visão do atual sistema elétrico de potência (SEP), em especial o brasileiro, guiando-nos ao futuro SEP integrado a sistemas de gerenciamento de energia, seus potenciais, desafios e limitações, na direção de uma *Smart Grid*.

O objetivo deste trabalho, é apresentar uma revisão da literatura dos sistemas de gerenciamento de energia elétrica, e mais especificamente para residências, os chamados *BEMS* (*Building Energy Management System*), em cenários que podem incluir: veículos elétricos, geração distribuída e baterias estacionárias, inseridos no contexto de uma *Smart Grid*.

SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA

A energia elétrica é um insumo indispensável ao desenvolvimento socioeconômico de todas as nações. É por meio da energia elétrica que se torna possível a garantia da manutenção de diversos sistemas essenciais, tais como: sistemas de saúde, segurança, educação, telecomunicações, iluminação, agrícolas, industriais, dentre muitos outros. Por isso, países com grandes extensões territoriais, como o caso do Brasil, possuem sistemas elétricos de potência bastantes extensos e complexos (ANEEL). No Brasil o SEP é totalmente interligado, sendo chamado de Sistema Interligado Nacional (SIN) e pode ser caracterizado, conforme Zanetta (2017) em: usinas geradoras (espalhadas por todo o país), linhas de alta tensão de transmissão de energia (são mais de 145.000 km de extensão) e sistemas de distribuição.

O Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) é o órgão responsável pela coordenação e controle da operação das instalações de geração e transmissão no SIN, sob a fiscalização e regulação da ANEEL (ONS, 2022). Conforme a ONS (2022) em seu plano mensal de operação de fevereiro de 2022, a geração no Brasil totaliza 173,843 GW e é dividida



em: hidrelétrica (62.5%), eólica (11.9%), termelétrica a gás e gás natural liquefeito (GNL) (8.8%), biomassa (8.3%), solar (2.7%) termelétrica à óleo e diesel (2.5%), termelétrica à carvão (1.7%), nuclear (1.1%) e outras fontes (0.4%). Essas fontes de energia estão ligadas ao SIN alimentam consumidores através de extensas redes de transmissão, subestações e redes de distribuição. Assim, a essência de um sistema de energia elétrica é o seu fornecimento em qualidade e ao tempo que a for solicitada (KAGAN, OLIVEIRA, ROBBA, 2010).

Percebe-se a complexidade que são os sistemas elétricos de potência, especialmente pela sua extensão, variadas fontes de geração e sazonalidade da geração e da carga. Realizar o controle do fluxo de potência no SEP é uma tarefa que requer monitoração constante e sistemas com mais inteligência para contingências, isso nos guia na direção das Redes Inteligentes, as *Smart Grids (SGs)*.

REDES INTELIGENTES

Amin e Wollenberg (2005), apresentaram pela primeira vez o conceito de redes inteligentes e, para isso, fizeram uma analogia com um acidente aéreo que aconteceu em 1980. Nesse acidente, o piloto de um F-15 colidiu em pleno voo com seu companheiro que estava em outra aeronave, comprometendo mais de 90% da asa direita do F-15, perdendo não somente as interfaces de controles, mas também a simetria. Felizmente, o piloto conseguiu aterrissar sem sofrer danos maiores. Esse cenário provocou um conjunto de novas pesquisas na aviação: formas adaptativas de controle, especialmente pela perda de simetria. Ou seja, o sistema precisava ser capaz de recalcular os parâmetros de controle a partir de um eventual dano sofrido, a fim de permanecer estável, sem que o operador precise alterar a forma de condução. Analogamente aos sistemas de potência, pode-se trazer que o SEP precisa manter a estabilidade e a confiabilidade mesmo sob condições de contingência.

Uma rede elétrica que emprega inteligência de monitoramento, controle, comunicação, auto adaptação e minimiza os custos enquanto aumenta a segurança, resiliência, flexibilidade e estabilidade para manejar automaticamente o fluxo de energia das fontes de geração até a demanda, é denominada *Smart Grid* (JAYACHANDRAN *et al*, 2021; VAZIRI *et al*, 2011).

A partir dos conceitos apresentados por Mandelman (2020) e Amin e Wollenberg (2005), é possível avaliar um comparativo entre a rede convencional e a *Smart Grid*, apresentado na Tabela 1:



Tabela 1. Comparativo entre a rede convencional de energia elétrica e uma *Smart Grid*.

Rede Convencional	<i>Smart Grid</i>
Medidor unidirecional	Medidor bidirecional
Geração centralizada	Geração distribuída
Supervisionado	Inteligente
Blackouts	Adaptativa
Poucos sensores	Muitos sensores

Fonte: adaptado de Mandelman (2020) e Amin e Wollenberg (2005).

Assim, nota-se que a *SG* surge como uma melhoria ao modelo tradicional centralizado e unidirecional, mas, também, como resposta ao incremento de novas tecnologias que afetarão diretamente as redes elétricas, tais como: geração distribuída (GD), veículos elétricos, sistemas de armazenamento de energia (SAEs), dentre outros que surgirem (AMOROSO, 2020).

SISTEMAS DE GERENCIAMENTO DE ENERGIA

O sistema de gerenciamento de energia é elemento que compõem as *Smart Grids*, coordenando a geração com o consumo através do gerenciamento do fluxo de potência com finalidades específicas para cada caso. Aqui é apresentada uma revisão da literatura acerca deste tema, buscando mostrar de maneira geral as principais utilizações de um EMS, direcionando para um objetivo específico.

A partir de Al-Ghaili *et al* (2021) e Alam e Arerifar (2019), tem-se as diversas classificações dos EMSs, neste trabalho, no entanto, serão apresentadas as baseadas no papel e nas funções de operação. Portanto, destaca-se os seguintes papéis de um EMS: minimização de custos operacionais, minimização de emissões poluentes, melhoria da estabilidade de tensão, melhoria da estabilidade e minimização do tempo de recuperação, melhoria na eficiência.

Na minimização de custos operacionais (GUO *et al*, 2016, MARZBAND *et al*, 2017, WANG *et al*. 2016), o EMS otimiza, com base na demanda, a geração evitando fontes caras, especialmente em horários de pico, aliada a uma reconfiguração do cronograma do sistema de distribuição, possibilitando a redução de custos operacionais. Além disso, a inclusão da Geração Distribuída (GD) entra como forma de reduzir as perdas com transmissão de potência em longas distâncias, mas a sua integração e operação ficam a cargo do EMS.



O aquecimento global é uma das principais preocupações mundiais, e fatores como consumo de gás veicular e outras emissões decorrentes de combustíveis fósseis são as mais prejudiciais. Na minimização de emissões poluentes (TAHA, ABDELTAWAB, MOHAMED, 2018; DIVSHALI, CHOI, LIANG, 2017; SOLANKI, BHATTACHARYA, CAÑIZARES, 2017), o EMS tem papel principalmente na escolha das fontes e na distribuição de energia, priorizando meios renováveis, como geração eólica, fotovoltaica e geotérmica, reduzindo as emissões de gases relacionados a demanda de energia.

No papel da melhoria na eficiência (MARZBAND *et al*, 2017; YUE *et al*, 2017), o EMS auxilia no monitoramento da energia distribuída, e por meio de tecnologias de IoT, o consumidor tem seu sistema otimizado pelo agendamento dos dispositivos que demandam energia. Ainda, através do monitoramento e controle, é possível gerenciar as fontes de energia, reduzindo estresse na rede, as perdas de potência e consequentemente aumentando a eficiência do sistema. Por exemplo no caso de uma residência, possuindo GD, VE e cargas, poderiam ser feitos ajustes nas fontes e nas cargas, deixando o carregamento de veículo elétrico para o período da madrugada, em que a demanda é reduzida, ainda, utilizando a bateria do VE como fonte de energia em horários de pico, dentre outros arranjos que melhorem a eficiência da casa e consequentemente da rede de distribuição.

As funções mais utilizadas, nesses casos, são: monitoração, otimização, estimação e previsão, controle e gerenciamento. Dentre essas, os percentuais médios mais elevados de economia de energia são: controle (30%), otimização (25,6%) e gerenciamento (25%). Ainda, a melhor combinação de funções em EMS são controle/otimização, com economia média de 21,27%, e a mais baixa estimação/previsão, com 10% de economia de energia (AL-GHAILI *et al*, 2021). De modo geral, a função de otimização pode ser vista como estratégias e sistemas que proporcionam o melhor cronograma do uso de energia no interior da construção, tomando decisões inteligentes, exemplos são encontrados em Han *et al* (2014), Sausen *et al* (2018) e

Collotta, Pau (2015). Já a função de controle é vista como estratégias e sistemas que controlam as operações de aparelhos que consomem energia, como apresentado em Macarulla *et al* (2016), ao invés de utilizar um controle do tipo *on/off*, fez-se uso de uma rede neural de forma preditiva, reduzindo o consumo de energia em cerca de 20%.



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma revisão da literatura permite encontrar as principais referências de trabalhos relacionados aos sistemas de gerenciamento de energia elétrica, alguns com um escopo mais abrangente, e outros mais particulares, mas todos demonstram que a implementação de técnicas para gerenciamento de energia guia a benefícios ao consumir e/ou para a rede de distribuição, principalmente na eficiência da rede, diminuição do pico de demanda e diminuição de gastos com energia.

Ainda, é evidenciado que os sistemas de gerenciamento do tipo controle/otimização são os que resultam em maiores economias de energia, com média de redução em 21,27% no consumo de energia elétrica. Portanto, a busca por referências desta topologia deve gerar melhores resultados em trabalhos de gerenciamento de energia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-GHAILI, A. M. et al. *Energy Management Systems and Strategies in Buildings Sector: A Scoping Review*. IEEE Access, vol. 9, pp. 63790-63813, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3075485.

ALAM, M. S. AREFIFAR S. A. *Energy Management in Power Distribution Systems: Review, Classification, Limitations and Challenges*. IEEE Access, vol. 7, pp. 92979-93001, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2927303.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. [S.l.], 2022. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/>>.

AMOROSO, M. M. *Tecnologias de redes sem fio para casas inteligentes: uma análise técnica e econômica*. 2020.

COLLOTTA, M.; PAU, G. *A novel energy management approach for smart homes using Bluetooth low energy*. IEEE J. Sel. Areas Commun., vol. 33, no. 12, pp. 2988-2996, Dec. 2015, doi: 10.1109/JSAC.2015.2481203.

DIVSHALI, P. H.; CHOI, B. J.; LIANG, H. *Multi-agent Transactive Energy Management System Considering High Levels of Renewable Energy Source and Electric Vehicles*. IET Generation, Transmission & Distribution, vol. 11, no. 15, pp. 3713-3721, 10 19 2017.

ERTRAC EUROPEAN TECHNOLOGY PLATFORMS. *European Roadmap Electrification of Road Transport*. [S.l.], 2017.



GUO, L. et al. *Energy Management System for Stand-Alone Wind-Powered-Desalination Microgrid*. IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 7, no. 2, pp. 1079-1087, March 2016.

HAN, J. et al. *Smart home energy management system including renewable energy based on ZigBee and PLC*. IEEE Trans. Consum. Electron., vol. 60, no. 2, pp. 198-202, 2014, doi: 10.1109/TCE.2014.6851994.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). *World Energy Outlook 2020*. 2020.

JAYACHANDRAN, M. et al. *Operational planning steps in smart electric power delivery system*. Scientific Reports, Nature Research, v. 11, 12 2021. ISSN 20452322.

KAGAN, N.; OLIVEIRA, C. C. B. de; ROBBA, E. J. *Introdução aos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica*. [S.l.], 2010.

MACARULLA M. et al. *Implementation of predictive control in a commercial building energy management system using neural networks*. Energy Buildings, vol. 151, pp. 511-519. 2017, doi: 10.1016/j.enbuild.2017.06.027.

MANDELMAN, M. *Análise crítica da matriz energética brasileira e a implementação de Smart Grid*. 2020.

MARZBAND, M. et al. *A Real-Time Evaluation of Energy Management Systems for Smart Hybrid Home Microgrids*. Electric Power Systems Research 143 (2017) 624–633, Elsevier Ltd.

MARZBAND, M. et al. *An Optimal Energy Management System for Islanded Microgrids Based on Multiperiod Artificial Bee Colony Combined With Markov Chain*. IEEE Systems Journal, vol. 11, no. 3, pp. 1712-1722, Sept. 2017.

ONS. Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS. [S.l.], 2022. Disponível em: <<https://www.ons.gov.br/>>.

RAFIQUE, S. et al. *Energy management systems for residential buildings with electric vehicles and distributed energy resources*. IEEE Access, v. 9, p. 46997–47007, 2021.

SAUSEN, J. P. et al. *Probabilistic analysis of electric vehicle insertion on distribution transformer load curve*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2017.

SAUSEN, J. P. et al. *Economic feasibility study of using an electric vehicle and photovoltaic microgeneration in a smart home*. IEEE Latin America Transactions, v. 16, p. 1907–1913, 2018. ISSN 15480992.



SOLANKI, B. V.; BHATTACHARYA, K.; CAÑIZARES, C. A. *A Sustainable Energy Management System for Isolated Microgrids*. IEEE Transactions on Sustainable Energy, vol. 8, no. 4, pp. 1507-1517, Oct. 2017.

TAHA, M. S.; ABDELTAWAB, H. H.; MOHAMED, Y. A. I. *An Online Energy Management System for a Grid-Connected Hybrid Energy Source*. IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, vol. 6, no. 4, pp. 2015-2030, Dec. 2018.

VAZIRI, M. et al. *Distributed generation issues, and standards*. IEEE, 2011.

WANG, Z.; CHEN, B.; WANG J.; KIM, J. *Decentralized Energy Management System for Networked Microgrids in Grid-Connected and Islanded Modes*. IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 7, no. 2, pp. 1097-1105, March 2016.

YUE, J. et al. *Optimization Scheduling in Intelligent Energy Management System for the DC Residential Distribution System*. IEEE Second International Conference on DC Microgrids (ICDCM), Nuremburg, 2017, pp. 558-563.

ZANETTA, L. C. *Fundamentos de Sistemas Elétricos de Potência*. [S.l.]: Editora Livraria da Física, 2005. ISBN 8588325411.