

Célula combustível e bateria para a garantia de despacho em sistemas de distribuição de energia

Fuel cell and battery for guaranteed dispatch in power distribution systems

¹Marília L. B. Peruzzo, ²Bruno Olmedo, ³Joylan N. Maciel, ⁴Oswaldo H. A. Junior, ⁵Jorge J. G. Ledesma*

¹Mestranda em Energia e Sustentabilidade no Programa de Pós Graduação em Energia e Sustentabilidade – Universidade Federal da Integração Latino Americana (mlb.peruzzo.2020@aluno.unila.edu.br)

²Estudante de Engenharia de Energia - Universidade Federal da Integração Latino Americana (bmo.chavez.2022@aluno.unila.edu.br)

⁴Professor do Programa de Pós Graduação em Energia e Sustentabilidade – Universidade Federal da Paraíba (oswaldo.junior@cear.ufpb.br,

^{3,5}Professor do Programa de Pós Graduação em Energia e Sustentabilidade – Universidade Federal da Integração Latino Americana (joylan.maciel@unila.edu.br,
*jorge.ledesma@unila.edu.br)

RESUMO: A busca pela descarbonização do setor energético exige a integração de sistemas de conversão limpos e estratégias eficientes de gerenciamento. Este trabalho apresenta um sistema híbrido composto por uma célula a combustível e uma bateria, com foco na suavização de carga. A abordagem proposta utiliza um fator de participação α para realizar a alocação dinâmica de potência, visando suprir a variação da demanda líquida residual sobre uma geração de base constante que atende à carga média. Foram analisados três cenários de capacidade de armazenamento: 0,1, 0,5 e 0,9 p.u., onde a estratégia foi validada via busca inspirada em algoritmos de otimização por satisfatibilidade. Os resultados demonstram que, enquanto em baixas capacidades a bateria atua apenas na suavização de rampa, a elevação para 0,9 p.u. permite que a bateria assuma 56% da variabilidade da carga.

Palavras Chave: Gerenciamento de Energia. Célula a Combustível. Bateria. Suavização de Carga.

ABSTRACT: The pursuit of decarbonization in the energy sector requires the integration of clean conversion systems and efficient energy management strategies. This study presents a hybrid system composed of a fuel cell and a battery, focusing on load smoothing. The proposed approach employs a participation factor, α , to perform dynamic power allocation, aiming to supply the residual net demand variation over a constant base generation that meets the average load demand. Three storage capacity scenarios were analyzed: 0.1, 0.5, and 0.9 p.u., in which the strategy was validated through an inspired by satisfiability-based optimization algorithms. The results demonstrate that, under low storage capacities, the battery operates primarily in ramp-rate smoothing, whereas increasing the capacity to 0.9 p.u. enables the battery to absorb up to 56% of the load variability.

Keywords: Energy Management. Fuel Cell. Battery. Load Smoothing. Optimization.

Recebido em:
06/06/2026
Publicado em:
06/07/2026

1 INTRODUÇÃO

A transição para fontes renováveis e a busca por emissões zero consolidaram o uso de sistemas híbridos como células a combustível (FC) e bateria. O planejamento, a implantação e a gestão desses sistemas estão no cerne da transição energética, permitindo-nos aproveitar todo o potencial dos recursos renováveis e aumentar a resiliência da rede [1].

No entanto, as células a combustível apresentam uma resposta dinâmica lenta devido a atrasos nos processos químicos e na operação do reformador, o que impede a adaptação direta a variações rápidas de carga [2].

A bateria atua como um buffer energético, aumentando a flexibilidade da rede elétrica. Dessa forma, contribui para tornar o Sistema Elétrico de Potência (SEP) mais adaptável às variações tanto da geração quanto da demanda. Embora a literatura já consolide as justificativas técnicas, os benefícios operacionais e a redução dos custos de fabricação dos sistemas de armazenamento de energia baseados em baterias, o Brasil ainda se encontra em um estágio inicial de adoção e aplicação dessa tecnologia [3], [4].

Portanto, o desenvolvimento de estratégias eficazes de gestão de energia é uma condição necessária para garantir a operação estável a longo prazo dos sistemas [5]. Pesquisas mostram que quanto maior o tempo de operação da pilha sob flutuação de carga, mais rápida é sua taxa de envelhecimento. Portanto, a taxa de flutuação da potência de saída da pilha de células a combustível deve ser minimizada durante sua operação [6], [7].

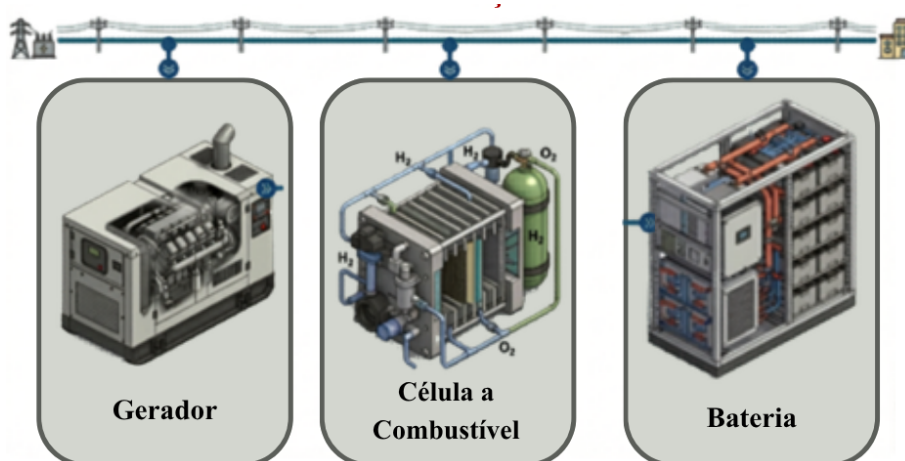
Dessa forma, os sistemas de armazenamento de energia (SAE) são frequentemente usados para complementar os sistemas de células a combustível. Os SAEs podem suavizar eficazmente as flutuações de energia na carga de um navio [8]. Devido a peculiaridade de lidarem com ciclos frequentes de carga e descarga, esses sistemas, geralmente são utilizados para armazenamento de energia em sistemas de células a combustível para aumentar a eficiência e a potência [9], [10]. Permitindo que esses sistemas mitiguem as flutuações de energia de baixa e alta frequência, resultando em efeitos de redução de pico e preenchimento de vales e reduzindo efetivamente o impacto das flutuações de carga em uma rede [11].

Um dos principais desafios é equilibrar o compartilhamento de energia enquanto protege a bateria de taxas de carga/descarga excessivas [12]. Dessa forma, a estratégia adotada baseia-se na separação entre potência média e potência variável da carga.

No Brasil, as células a combustível ainda operam em caráter experimental via projetos de P&D que integram hidrogênio a sistemas renováveis. A falta de infraestrutura logística e de uma cadeia produtiva impede sua escala no sistema elétrico, tornando a viabilidade comercial dependente de segurança regulatória e redução de custos [13].

A figura 1, apresenta a arquitetura proposta para o atendimento da demanda por meio da utilização do gerador, bateria e célula a combustível.

Figura 1 - Arquitetura de atendimento à demanda com suporte de gerador, bateria e célula a combustível



Fonte: Autores, 2026.

Com isso, este trabalho propõe uma metodologia de otimização de energia em que o atendimento da potência média da carga é garantido por um gerador operando de forma constante, enquanto que o sistema híbrido (FC e bateria), atua exclusivamente na compensação das variações temporais da demanda. A fim de avaliar o impacto da capacidade de

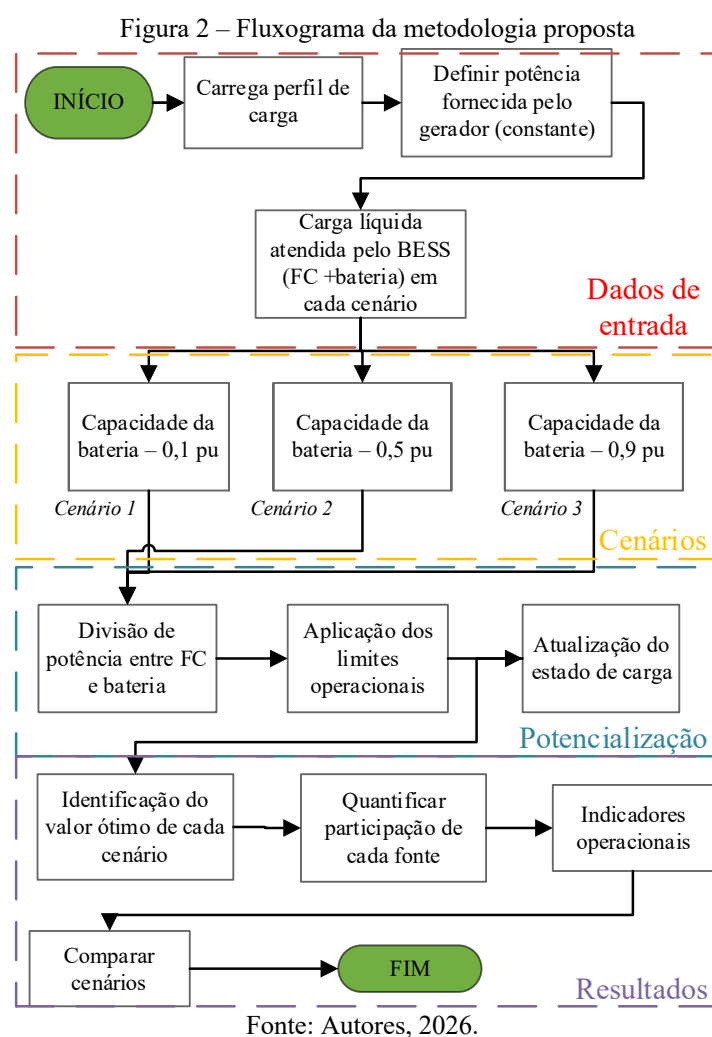
armazenamento no desempenho do sistema, são analisados três cenários distintos, definidos por diferentes níveis de energia disponível na bateria.

2 MATERIAIS E MÉTODO

Para refinamento da escrita e revisão do texto foi utilizado o NotebookLM. A ferramenta não foi utilizada para geração de resultados, análises, interpretação de dados ou conclusões.

O sistema analisado consiste em uma arquitetura híbrida composta por uma fonte de geração constante e um sistema de energia híbrido, formado por uma bateria e uma célula a combustível. A combinação das fontes supera as fraquezas individuais, resultando em maior eficiência, maior autonomia e menor custo em comparação com sistemas que utilizam apenas um dos componentes (Nguyen; Nguyen, 2026; Pramuanjaroenkij; Kakaç, 2023).

A figura 2 ilustra o fluxograma da metodologia proposta indicando as etapas e processos da análise.



2.1 Modelagem do sistema híbrido

O sistema proposto é projetado para atender a uma carga de base constante, onde as flutuações de alta frequência da demanda líquida deve ser supridas por um conjunto híbrido composto de célula a combustível e bateria (Fathabadi, 2015).

As cargas são classificadas em (i) residenciais, (ii) comerciais, (iii) industriais, (iv) rurais, (v) municipais e governamentais e (vi) carga de iluminação pública. Esses critérios de

classificação permitem identificar hábitos de consumo como variação de tensão produzida e demanda (KAGAN; OLIVEIRA; ROBBA, 2005).

Neste trabalho foi considerada a curva de carga industrial, sem distinção para estação do ano ou dias da semana, utilizando o comportamento diário do perfil de carga conforme proposto em (FREITAS, 2015).

O gerador fornece potência constante para atender a carga, sendo estabelecida pela média do valor da carga. Os déficits ou sobras são atendidos pelo sistema de armazenamento ou utilizados para carregar a bateria.

O equilíbrio de energia no barramento exige que a demanda seja atendida instantaneamente pela soma das potências, conforme o balanço de potência apresentado na equação 1.

$$P_{fc}(k) + P_{bat}(k) = P_{load}(k) - P_{ger} \quad (1)$$

Onde a diferença de potência, naquele instante, entre a carga $P_{load}(k)$ e o gerador P_{ger} é suprida de forma otimizada pela célula a combustível $P_{fc}(k)$ e a bateria $P_{bat}(k)$.

A diferença entre a carga e a geração define a potência líquida do sistema, que deve ser atendida pelo sistema híbrido. Esse procedimento é consistente com estratégias de desacoplamento entre potência média e dinâmica, frequentemente empregadas em sistemas com células a combustível e baterias (Nguyen; Nguyen, 2026).

2.2 Estratégia do sistema híbrido

Diferente de métodos preditivos complexos, utiliza-se um fator de participação $\alpha \in$ como variável de decisão única para realizar o despacho de potência, buscando simplificar o espaço de busca, permitindo uma análise de sensibilidade direta sobre a contribuição de cada fonte (Araújo, 2017). A potência utilizada da bateria e da célula a combustível pode ser representada pelas equações 2 e 3, respectivamente.

$$P_{bat}(k) = \alpha P_{dev}(k) \quad (2)$$

$$P_{fc}(k) = (1 - \alpha) P_{dev}(k) \quad (3)$$

Esta lógica permite que o otimizador determine a proporção ideal onde a bateria absorve os transientes, protegendo a FC de flutuações severas que aceleram seu envelhecimento (Hua et al., 2019; Marx et al., 2015).

O sistema híbrido é otimizado a partir da diferença entre a carga e a geração do gerador, que define um déficit de potência ao longo do tempo. Esse déficit é dividido entre a bateria e a célula a combustível por meio de um parâmetro de controle (α), que é ajustado iterativamente. A otimização testa diferentes valores de α e seleciona aquele que minimiza uma função custo, considerando o esforço das fontes, a variação do estado de carga da bateria e o atendimento da demanda. Dessa forma, o sistema garante o suprimento da carga de maneira equilibrada e eficiente, respeitando os limites operacionais de cada componente.

2.3 Modelagem da bateria e restrições

A bateria é modelada por um balanço energético que descreve a evolução do seu estado de carga (SOC) através da integração da potência de despacho, considerando eficiências de carga ($\eta_{ch}=0,95$) e descarga ($\eta_{dis}=0,94$), conforme a equação 4 (Niu; Xiao, 2024).

$$SOC(k+1)=SOC(k)-\frac{P_{bat}(k)\Delta t}{\eta E_{bat}} \quad (4)$$

Onde E_{bat} representa a capacidade nominal da bateria. Para preservar a vida útil do componente, o SOC é restrito ao intervalo de 0,2 a 0,8 (Zhang et al., 2025). A célula a combustível possui um limite superior de operação (P_{fc_max}) para garantir sua integridade (Zhang et al., 2025).

2.4 Modelo de potencialização

O objetivo da otimização é encontrar o valor de α que minimiza uma função custo quadrática (J). Diferente de modelos que focam na massa de combustível, como apresentado em (Zhang et al., 2025), esta formulação foca na estabilidade operacional e minimização do esforço das fontes que compõem o sistema.

$$\min J = \omega_1 \sum P_{fc}^2 + \omega_2 \sum P_{bat}^2 + \omega_3 \sum (SOC_k - SOC_0)^2 \quad (5)$$

Nesta configuração, os pesos ω equilibram a utilização de cada fonte e a manutenção da reserva de energia da bateria.

De acordo com a literatura a bateria deve ter menor peso na função de custo por ser a tecnologia mais barata, madura e de resposta rápida entre as alternativas estudadas. Enquanto as células a combustível apresentam insumos caros e produção difícil, a bateria destaca-se por sua viabilidade financeira e prontidão para suprir flutuações, tornando-a a opção preferencial para reduzir o custo do sistema (Macedo da Silva et al., 2023b). Dessa forma, a bateria é priorizada para atender a demanda e a diferença é suprida pela célula a combustível.

2.5 Cenários

A otimização é realizada via busca no intervalo de α (Araújo, 2017), simulando o sistema para três cenários de capacidade de armazenamento diferentes (i) no cenário 1, a capacidade da bateria é definida em 0,1p.u.; (ii) no cenário 2, é aumentada para 0,5p.u.; e (iii) no cenário 3, para 0,9 p.u. Esta análise de sensibilidade permite verificar como o aumento da capacidade do sistema híbrido influencia na suavização da carga e na redução do déficit de atendimento da demanda líquida, analisando a influência da capacidade do sistema na flexibilidade operacional, abordagem comum em estudos de dimensionamento e operação de sistemas híbridos.

Para cada cenário, o sistema é simulado utilizando o valor ótimo do fator de compartilhamento, sendo avaliado os seguintes indicadores: energia total demandada, energia atendida, déficit de potência, participação otimizada da bateria e da célula a combustível, Estado de carga da bateria, desvio padrão da potência da célula a combustível.

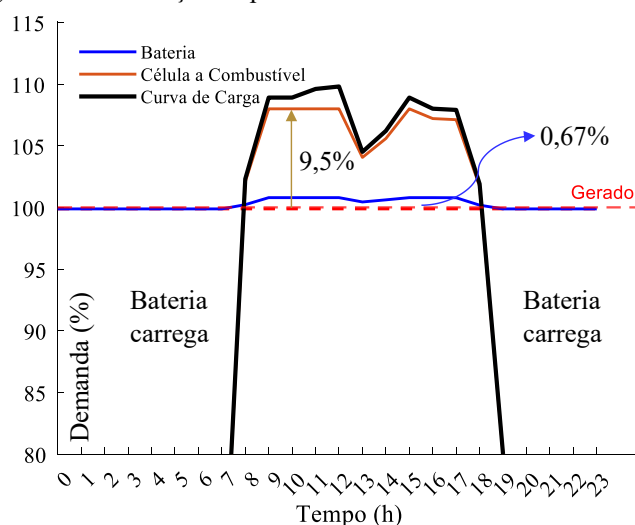
3 RESULTADOS/ DISCUSSÕES

Os resultados permitiram demonstrar como a otimização realiza o despacho de potência priorizando atender totalmente a demanda, bem como priorizar a utilização da bateria, ao variar sua capacidade em cada cenário.

3.1 Cenário 1 – Bateria até 0,1pu

A figura 3 apresenta os resultados obtidos no cenário 1, onde a capacidade da bateria é 0,1pu.

Figura 3 - Distribuição de potência no sistema híbrido no cenário 1



Fonte: Autores, 2026.

Observa-se que a carga apresenta cargas maiores durante o dia, possuindo menor demanda nas primeiras e últimas horas do dia, período utilizado para carregar a bateria. O gerador opera de forma constante atendendo a média da carga.

Devido à baixa capacidade da bateria (0,1p.u.), somente 0,67% da demanda excedente é atendida, todo o restante é suprido pela célula a combustível, mesmo possuindo maior custo.

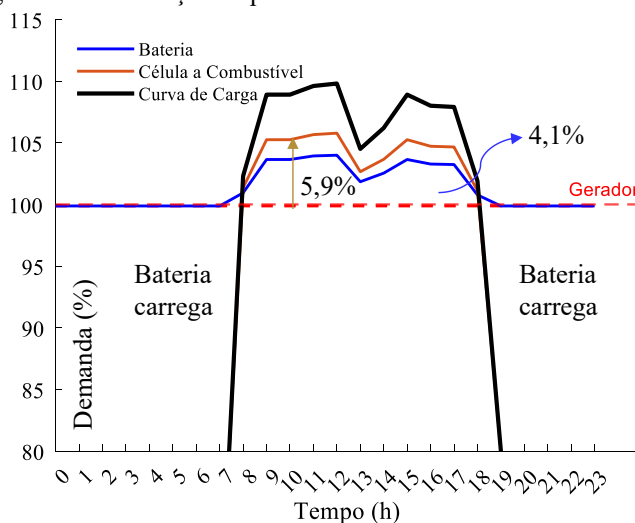
A função operacional da bateria em arquiteturas híbridas é fortemente condicionada por sua capacidade energética nominal. Em cenários de baixa capacidade, a bateria não possui autonomia suficiente para realizar o deslocamento energético da carga, uma vez que é necessário o suprimento de energia por períodos prolongados, o que é inviabilizado pelas limitações de escala do componente (Han et al., 2019).

Nesse caso, o papel da bateria limita-se ao suporte dinâmico, atuando na suavização da rampa, para compensar a resposta dinâmica lenta da célula a combustível (Fathabadi, 2015).

3.2 Cenário 2 – Bateria até 0,5pu

A figura 4 apresenta os resultados obtidos no cenário 2, onde a capacidade da bateria é 0,5pu.

Figura 4 - Distribuição de potência no sistema híbrido no cenário 2



Fonte: Autores, 2026.

Neste cenário podemos observar que a bateria com capacidade intermediária de 0,5pu, apresenta atuação mais significativa em comparação ao cenário de baixa capacidade. Nota-se que ela contribui de forma mais expressiva durante os períodos de pico, conseguindo sustentar parte relevante da demanda (4,1%) por um intervalo maior de tempo. Com isso, o aumento da capacidade da bateria permite que ela absorva essas flutuações de forma mais sustentada (Fathabadi, 2015).

Enquanto o cenário de 0,1p.u. apresentava um déficit de 0,216p.u., a capacidade de 0,5p.u. permitiu ao otimizador reduzir o déficit para apenas 0,002p.u., atingindo um atendimento de quase 100%. Comprovando que a capacidade intermediária da bateria possui densidade de energia suficiente para não saturar rapidamente durante os picos de carga (Han et al., 2019; Nguyen; Nguyen, 2026).

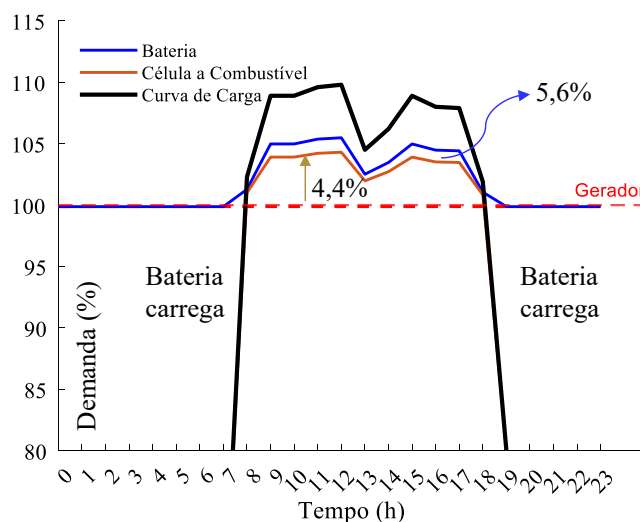
O algoritmo de gerenciamento de energia prioriza o uso da bateria por ser uma tecnologia mais barata, madura e eficiente em termos de resposta rápida quando comparada à célula a combustível (Macedo da Silva et al., 2023a). Ao elevar a participação da bateria para 4,1%, o sistema minimiza o custo operacional total, reservando a célula a combustível para operar de forma mais estável e próxima à sua zona de máxima eficiência (Zhang et al., 2025).

Mesmo com a atuação mais intensa, a estratégia de otimização garantiu que o SOC final retornasse a 0,8, demonstrando que o sistema é capaz de sustentar a demanda de pico sem comprometer a reserva de energia necessária para ciclos futuros.

3.3 Cenário 3 – Bateria até 0,9pu

A figura 5 apresenta os resultados obtidos no cenário 3, onde a capacidade da bateria é 0,9pu.

Figura 5 - Distribuição de potência no sistema híbrido no cenário 3



Neste cenário de alta capacidade da bateria, o sistema atinge seu desempenho máximo, com a bateria assumido o papel predominante no atendimento da carga, diferente dos cenários anteriores onde sua capacidade era reduzida.

A bateria, neste cenário, consegue sustentar a operação durante o período de alta demanda, fornecendo energia de forma expressiva e sustentada (Fathabadi, 2015). O algoritmo de otimização, ao buscar o custo mínimo realiza o atendimento da demanda utilizando maior parcela da bateria (5,6%). Esse comportamento resulta em uma taxa de atendimento total,

provando que o aumento da capacidade de armazenamento é o fator chave para a estabilidade do sistema híbrido (Fathabadi, 2015; Han et al., 2019).

Neste cenário a participação da célula a combustível é reduzida, transferindo a maior parte da carga variável para a bateria e protegendo a durabilidade da célula a combustível evitando rampas bruscas de potência que acelerariam sua degradação mecânica e química (Nguyen; Nguyen, 2026).

3.4 Cenário de comparação

A comparação entre os três cenários demonstra que a eficiência da estratégia de gerenciamento de energia é diretamente proporcional à capacidade instalada do sistema de armazenamento. Enquanto o cenário de baixa capacidade (0,1p.u.) limita a bateria a uma função de suporte dinâmico para suavização de rampa, resultando em sobrecarga da célula a combustível e um déficit de atendimento de 2,8%, a elevação da capacidade para 0,9p.u. permite que o sistema realize plenamente o deslocamento energético. A tabela 1 apresenta os dados comparativos dos três cenários.

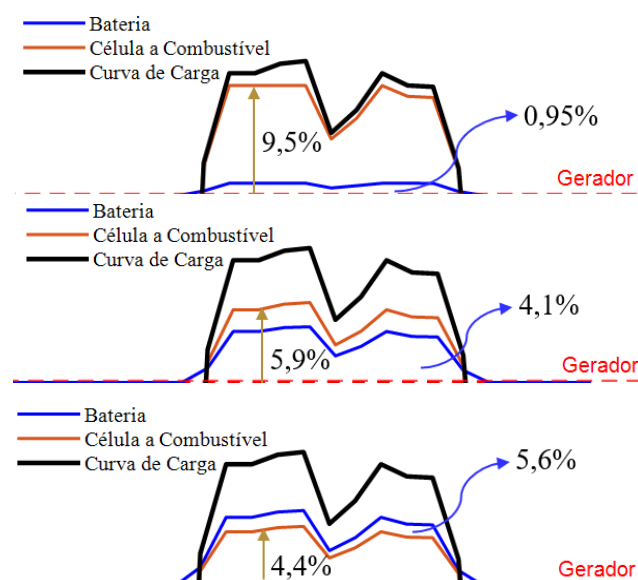
Tabela 1 – Comparação do atendimento da demanda da rede de distribuição entre bateria e célula combustível nos cenários

Cenário	Atendimento (%)	Part. Bateria (%)	Part. Célula (%)
0,1p.u.	97,2%	6,7%	90,5%
0,5p.u.	100,0%	41,0%	59,0%
0,9p.u.	100,0%	56,0%	44,0%

Fonte: Autores, 2026.

Esta robustez energética possibilita que o otimizador priorize o uso da bateria, que é tecnicamente reconhecida como a tecnologia mais barata e madura elevando seu fator de participação (α) de 0,88 para 0,99. A figura 6 apresenta a comparação gráfica entre os três cenários.

Figura 6 – Comparação entre os cenários



Fonte: Autores, 2026.

Consequentemente, o cenário de maior capacidade não apenas elimina o déficit de energia, mas cumpre integralmente o objetivo de suavização de carga, protegendo a integridade das células a combustível ao reduzir significativamente suas flutuações operacionais e mantendo-a em regimes de alta eficiência.

Nota-se também, que o algoritmo de otimização realiza o carregamento da bateria em horas de baixa carga para descarregá-la em momento críticos de alta carga.

4. CONCLUSÃO/ CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do todo apresentado, é possível analisar a estratégia de otimização realizada baseada no fator de participação α , aplicada a um sistema híbrido composto por uma célula a combustível e uma bateria. A metodologia proposta permitiu avaliar como a variação da capacidade energética influencia a estabilidade operacional e a economia do sistema.

Os resultados demonstram que a eficácia da suavização de carga é diretamente dependente da escala do sistema de armazenamento. No cenário 1, de baixa capacidade (0,1p.u.), a bateria limita-se a atuar como um suporte dinâmico, sendo insuficiente para evitar sobrecargas na célula a combustível e déficits de atendimento. Por outro lado, a elevação da capacidade para 0,9p.u. permitiu que o sistema exercesse plenamente a função de deslocamento energético, eliminando o déficit de energia e garantindo que a bateria assumisse 56% da variabilidade da demanda líquida.

A estratégia de otimização mostrou-se robusta ao priorizar a bateria como fonte principal de despacho dinâmico. Esta escolha é tecnicamente justificada pela viabilidade econômica. De modo geral, conclui-se que sistemas com maior flexibilidade de armazenamento não apenas operam em pontos de máxima eficiência, mas também garantem a resiliência necessária para o atendimento integral de cargas variáveis, consolidando o sistema híbrido de armazenamento como o elemento central para o atendimento de cargas com variação.

5. REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Farias Rodrigo. **Um novo método de otimização baseado em teorias de satisfatibilidade**. Manaus: Universidade Federal do Amazonas, mar. 2017.

FATHABADI, Hassan. Fuel cell/back-up battery hybrid energy conversion systems: Dynamic modeling and harmonic considerations. **Energy Conversion and Management**, v. 103, p. 573–584, 14 jul. 2015.

FREITAS, Paulo Ricardo Radatz. **Modelos avançados de análise de redes elétricas inteligentes utilizando o software OpenDSS**. São Paulo: Universidade de São Paulo - USP, 2015.

HAN, Ying *et al*. Two-level energy management strategy for PV-Fuel cell-battery-based DC microgrid. **International Journal of Hydrogen Energy**, p. 19395–19404, 19 jul. 2019.

HUA, Zhiguang *et al*. Challenges of the Remaining Useful Life Prediction for Proton Exchange Membrane Fuel Cells. *In*: IEEE, out. 2019.

KAGAN, Nelson; OLIVEIRA, Carlos César Barioni; ROBBA, Ernesto João. **Introdução aos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica**. 1. ed. São Paulo: Editora Edgar Blucher, 2005.

MACEDO DA SILVA, Lucas *et al*. **BATERIAS, CÉLULAS A COMBUSTÍVEL E HIDROGÊNIO: ALTERNATIVAS PARA O ARMAZENAMENTO DE ENERGIA.** 2023.

MARX, Neigel *et al*. Comparison of the Series and Parallel Architectures for Hybrid Multi-Stack Fuel Cell - Battery Systems. *In: IEEE*, out. 2015.

NGUYEN, Luan Thanh; NGUYEN, Cong Thanh. **Emerging trends in intelligent management of fuel cell-battery hybrid systems: Applications, challenges, and opportunities.** FuelElsevier Ltd, , 1 out. 2026.

NIU, Lei; XIAO, Li. Optimization of topology and energy management in fuel cell cruise ship hybrid power systems. **Intelligent Marine Technology and Systems**, v. 2, n. 1, p. 12, 17 maio 2024.

PRAMUANJAROENKIJ, Anchasa; KAKAÇ, Sadık. The fuel cell electric vehicles: The highlight review. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 48, n. 25, p. 9401–9425, mar. 2023.

ZHANG, Yi *et al*. A Two-Layer Energy Management Strategy for Fuel Cell Ships Considering the Performance Consistency of Fuel Cells. **Energy Engineering**, v. 122, n. 9, p. 3681–3702, 2025.

NOTAS

CONTRIBUIÇÃO DE AUTORIA

Concepção e elaboração do manuscrito M. L. B. Peruzzo.

Coleta de dados: B. Olmedo

Análise de dados J. N. Maciel

Metodologia J. J. G. Ledesma

Revisão e aprovação O. H. A. Junior

Discussão dos resultados: Todos os autores contribuíram de maneira Equivalente

PREPRINTS

O manuscrito não é um preprint.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA), ao Programa de Pós-Graduação Interdisciplinar em Energia e Sustentabilidade (PPGIES), à Universidade Federal da Paraíba (UFPB), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio acadêmico processos nº 301810/2023-0, 405350/2022-8, 406662/2022-3 e 460014/2025-0, e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES).

FINANCIAMENTO

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo suporte financeiro concedido por meio dos processos nº 301810/2023-0, 405350/2022-8, 406662/2022-3 e 460014/2025-0, e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES).

CONFLITO DE INTERESSES

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

DISPONIBILIDADE DE DADOS DE PESQUISA E OUTROS MATERIAIS

Os dados foram publicados no próprio artigo. Todo o conjunto de dados que dá suporte aos resultados deste estudo está incluído no corpo do artigo.

ANUÊNCIA DE AVALIAÇÃO ABERTA

Não se aplica.



O conteúdo deste trabalho pode ser usado sob os termos da licença Creative Commons Attribution 4.0. Qualquer outra distribuição deste trabalho deve manter a atribuição ao(s) autor(es) e o título do trabalho, citação da revista e DOI.