57º SBPO
SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL
Gramado • RS
DE 5 A 9 DE OUTUBRO DE 2025

Integração de Técnicas de Otimização e Visualização de Dados para Análise de Microrredes Híbridas

Victor Pereira da Silva dos Santos, Eduarda Varela Fahr, Eldanae Nogueira Teixeira, Juliana Baptista dos Santos França, Carla Amor Divino Moreira Delgado e Carolina Gil Marcelino
Instituto de Computação, Universidade Federal do Rio de Janeiro
Av. Athos da Silveira Ramos, 274 - Cidade Universitária, Rio de Janeiro - RJ, 21941-916
(victorpss, eldany, julianabsf, carla, carolina)@ic.ufrj.br

RESUMO

O avanço dos sistemas híbridos de microrredes reflete a crescente demanda por soluções sustentáveis na geração de energia elétrica. Ao integrarem fontes renováveis, como solar e eólica, esses sistemas contribuem para a transição energética, embora apresentem alta complexidade operacional. Para apoiar a gestão eficiente desses sistemas, este trabalho propõe o desenvolvimento de um dashboard interativo voltado à simulação de microrredes. Com base em requisitos definidos a partir da modelagem e otimização de um simulador de microrrede inteligente, o sistema oferece funcionalidades como visualização temporal com comentários, filtragem de dados e exportação de gráficos. A ferramenta visa auxiliar pesquisadores e usuários na análise de produção e consumo de energia, promovendo práticas mais sustentáveis no planejamento energético.

PALAVRAS CHAVE. Otimização, Sistemas de microrrede inteligentes, Visualização de dados

OSP – Otimização de Sistemas de Potência, AG&MA – PO na Agricultura, Meio Ambiente e Sustentabilidade, MH – Metaheurísticas

ABSTRACT

The advancement of hybrid microgrid systems reflects the growing demand for sustainable solutions in electricity generation. By integrating renewable energy sources such as solar and wind, these systems contribute to the energy transition, despite their high operational complexity. To support the efficient management of such systems, this work proposes the development of an interactive dashboard designed for microgrid simulation. Based on a set of requirements derived from the modeling and optimization of an intelligent microgrid simulator, the system provides features such as temporal data visualization with annotation capabilities, data filtering, and chart export in image format. The tool is intended to assist researchers and end-users in analyzing energy production and consumption patterns, thereby promoting more sustainable practices in energy planning and management.

KEYWORDS. Optimization, Intelligent microgrid systems, Data visualization

OSP – Power Systems Optimization, AG&ES – Operations Research in Agriculture, Environment, and Sustainability, MH – Metaheuristics

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212420
https://proceedings.science/p/212420?lang=pt-br

1. Introdução

Um Sistema de Microrrede Híbrido (HMGS) é caracterizado pela geração e distribuição de energia elétrica por meio de microturbinas, painéis solares e uma bateria, desempenhando um papel crucial no cenário atual de transição energética, pois permite a integração de fontes de energia renováveis com as fontes tradicionais (não-renováveis) oriundas da rede pública. A capacidade de operação em conjunto com a rede pública torna a micro-rede uma solução bastante atrativa para os usuários do sistema (em geral, conjuntos habitacionais ou parques industriais), que visam reduzir o custo com energia elétrica e a perda de carga na transmissão da energia.

No contexto do HMGS, Kharrich et al. [2021], Marcelino et al. [2023], Acioly Filho et al. [2024], abordam a crescente preocupação com o meio ambiente e a maior preferência pelo uso das fontes renováveis conforme há o aumento da demanda energética. No entanto, a geração de energia renovável é caracterizada pela produtividade variável, fazendo com que seja necessário o uso de baterias para armazenar a energia em momentos de alta produtividade e usá-la durante a baixa produtividade para abastecer os usuários das microrredes. Dessa forma, a pesquisa testa diferentes baterias por meio da simulação de um cenário real de uso do HMGS para classificar a que melhor otimiza os valores para o custo da energia elétrica, a probabilidade de perda de energia e a porcentagem de fator renovável. A configuração da microrrede também é uma variável de otimização para cada teste realizado, onde variam-se os valores de dias de autonomia, geração máxima dos painéis fotovoltaicos, número de turbinas eólicas e número de casas. Para o experimento, foi usada a meta-heurística evolutiva C-DEEPSO [Marcelino et al., 2018] como algoritmo de otimização dos valores observados.

Este trabalho surge da necessidade de aprimorar a forma como são apresentados os dados gerados pela otimização de um Sistema Híbrido de Microrrede (HMGS) simulado, superando limitações na identificação de padrões e tendências. A ausência de representações visuais adequadas dificulta a análise por parte de usuários interessados em compreender os benefícios do uso de microrredes em contextos específicos. Assim, o principal objetivo deste estudo é viabilizar a visualização interativa dos dados resultantes da otimização de um HMGS, oferecendo ao usuário final — como clientes ou pesquisadores — uma interface que permita tanto a exploração gráfica quanto a análise dos fenômenos observados. Além disso, busca-se incorporar um diferencial inovador em relação a soluções similares existentes no mercado, por meio da implementação de alertas visuais automáticos para possíveis anomalias, com base em métricas específicas aplicadas a cada conjunto de dados.

Tendo em vista o caráter metodológico para a visualização de dados proposta neste trabalho que contribui, com relevância, para o estado da arte, é apresentada a construção de um dashboard dinâmico e interativo, projetado para sintetizar grandes volumes de dados em representações visuais intuitivas, como gráficos, tabelas e indicadores, facilitando a compreensão e a tomada de decisões baseadas em dados Zhuang [2022]. Esses painéis permitem o monitoramento contínuo de métricas e indicadores-chave de desempenho (KPIs), ajudando gestores e analistas a identificarem tendências, padrões e anomalias de forma rápida. A interatividade desses dashboards, muitas vezes, permite que os usuários filtrem, detalhem e personalizem a visualização dos dados conforme suas necessidades específicas Pasquali [2024]. A execução da meta-heurística C-DEEPSO sobre uma simulação de microrrede também foi adicionada ao dashboard. A reunião dessas diferentes funcionalidades possui grande valor agregado devido ao uso de técnicas de engenharia de software para ampliar o entendimento dos resultados obtidos através da aplicação de algoritmos de otimização, se tornando, por essa razão, um grande diferencial frente às soluções disponíveis na literatura.

Portanto, com o objetivo de auxiliar na visualização de dados e promover o suporte necessário à tomada de decisão, a solução apresentada neste trabalho visa apoiar o tomador de de-

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212420
https://proceedings.science/p/212420?lang=pt-br

cisão a gerar uma interpretação rápida, intuitiva e interativa por meio do desenvolvimento de uma aplicação web (com formato de dashboard) com a representação gráfica dos dados de otimização obtidos da simulação de um HMGS. Para controle dos usuários e ajuda na utilização do dashboard, também houve o desenvolvimento de um sistema de cadastro de usuários, com preenchimento de dados relativos ao seu perfil e gravação de informações adicionais (comentários) criadas pelos próprios usuários durante o uso da aplicação para serem exibidas em consultas posteriores.

2. Sistema de Microrrede Híbrido (HMGS)

Um sistema microrrede híbrido compreende um conjunto de distribuição energética que envolve diferentes atores geradores (microturbinas eólicas, painéis fotovoltaicos e geradores a combustível) e armazenadores de energia (capacitores e baterias), que podem ou não estar conectados ao grid público. Esse sistema pode atuar de forma não autônoma, se compartilha recursos com a rede elétrica convencional, ou de forma autônoma, caso não esteja conectado à rede pública.

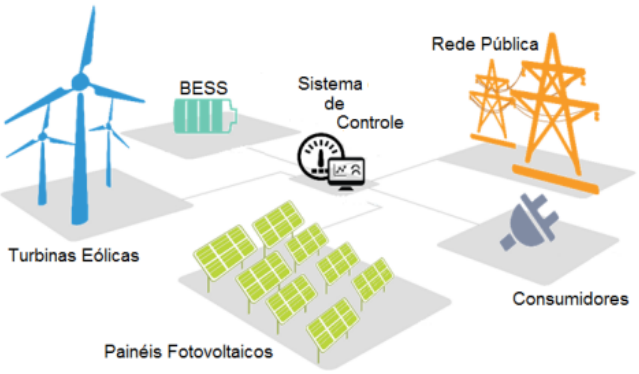

Figura 1: Sistema de microrrede híbrido.

A aplicação planejada e correta de uma microrrede em um conjunto habitacional ou parque industrial pode aumentar o desempenho geral do sistema, mas, para isso, a manipulação dos componentes deve ser feita de modo a equilibrar a geração e a carga, mantendo a frequência e os níveis de tensão dentro dos parâmetros de qualidade estabelecidos. As principais questões avaliadas que medem o desempenho são:

- O custo da energia elétrica (COE), que deve ser o mínimo;
- A probabilidade de perda de energia (LPSP), que deve ser a mínima;
- A porcentagem de fator renovável (RS), isto é, a razão de energia usada que é renovável, que deve ser a máxima.

2.1. Modelagem Matemática de um HMGS

A modelagem matemática para a simulação de uma HMGS foi baseada em [Borhanazad et al., 2014; Marcelino et al., 2020], que também detalha os componentes como painéis fotovoltaicos (PV), turbinas eólicas de pequeno porte e o funcionamento dos sistemas de armazenamento de energia (ESSs). Os dados sazonais de radiação solar, velocidade do vento e carga utilizados como entrada para a simulação do controlador de despacho elétrico foram baseados em [Jimenez-Fernandez et al., 2019; Mallol-Poyato et al., 2016; SODA, 2022]. Neste caso, a demanda de potência simulada corresponde a uma série temporal de carga industrial do Complexo Eólico de Osório, no Brasil. Adicionalmente, quando não é possível gerar energia elétrica a partir de fontes renováveis, a microrrede recebe injeção de energia via a rede pública. Dessa forma, considerou-se o preço final

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212420
https://proceedings.science/p/212420?lang=pt-br

da eletricidade para o consumidor de 0,8592 R$/kWh, que corresponde ao custo médio diário da eletricidade pública nas principais capitais brasileiras. O custo total da energia em kWh é obtido por:

$$COE\left[\frac{R\$}{\text{kWh}}\right] = \frac{IC + PW_p + PW_{np} + \sum_{t=1}^{T} C_d}{\sum_{t=1}^{T} P_{load}(t)} \cdot CRF, \tag{1}$$

na qual o numerador representa os custos totais de instalação, manutenção e substituição dos componentes da microrrede. IC é o custo inicial do sistema, PW_p é o custo periódico e PW_{np} o custo não periódico. O termo $P_{load}(t)$ é a demanda energética no tempo t e $C_d[\$]$ é o custo de degradação da bateria, dado por:

$$C_d\ [R\$] = \frac{C_{bat}}{L_C \cdot E_S \cdot DoD}, \tag{2}$$

sendo C_{bat} o custo da bateria, DoD a descarga da profundidade, L_C o ciclo de vida da bateria e E_S a capacidade da bateria. A modelagem também inclui uma política de compensação de energia (net-metering), ou seja, ao invés da energia excedente ser desperdiçada (quando a demanda é suprida e a bateria estiver totalmente carregada), essa energia é convertida em créditos pela rede pública. Esses créditos, futuramente, podem ser trocados pela energia elétrica da rede pública (P_{met}). Sendo assim o cálculo do $LPSP$ é dado por:

$$I(x) = \begin{cases} 1, & \text{se } x > 0 \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \tag{3}$$

$$LPSP[\%] = \frac{\sum_{t=1}^{T} I\big(P_{load}(t) - (P_{pv}(t) + P_{wind}(t) + P_{dch}(t) + P_{grid}(t) + P_{met}(t))\big)}{T}, \tag{4}$$

Na qual, P_{pv}, P_{wind}, P_{grid} representam, respectivamente, a energia gerada pelos painéis fotovoltaicos, turbinas eólicas e a energia injetada pela rede pública. P_{dch} é a potência da bateria que alimenta a carga. A equação que calcula o fator renovável, onde $P_s(t)$ é a energia excedente desperdiçada ou compensada pode ser obtida por:

$$RS[\%] = \frac{\sum_{t=1}^{T} (P_{pv}(t) + P_{wind}(t) + P_{dch}(t) - P_s(t))}{\sum_{t=1}^{T} P_{load}(t)}. \tag{5}$$

A partir dos três objetivos que caracterizam a modelagem matemática para a simulação do HMGS, uma função de avaliação (fitness) foi construída para fase de otimização. A fitness tem um fator de penalidade $\rho = 0,5$

$$fitness = 0{,}5 \cdot COE + 0{,}5 \cdot LPSP + \rho \sum_{i=1}^{np} \max[0, RS]^2. \tag{6}$$

Para encontrar os melhores valores para essas métricas, é utilizado o algoritmo de otimização evolutivo C-DEEPSO, que provê uma solução otimizada a partir de entradas dadas por dados meteorológicos (velocidade do vento, temperatura ambiente e radiação solar), geração de energia via painéis fotovoltaicos e microturbinas eólicas, capacidade energética corrente da bateria e demanda (consumo) energética na região simulada. Na subseção a seguir, seu funcionamento será explicado com maiores detalhes.

2.2. *Canonical Differential Evolutionary Particle Swarm Optimization* (C-DEEPSO)

O conceito do algoritmo de otimização Evolucionário Diferencial por Enxame de Partículas Canônico (C-DEEPSO) é proposto em [Marcelino et al., 2018]. Trata-se de uma metaheurística que incorpora as características de Computação Evolutiva (EC), as regras de recombinação da Otimização por Enxame de Partículas (PSO) e a seleção e auto-adaptabilidade da Evolução Diferencial (DE). Como outra metaheurísticas, C-DEEPSO integra o uso dos operadores de mutação,

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212420
https://proceedings.science/p/212420?lang=pt-br

recombinação e seleção para criar novas soluções (partículas), de modo que a população é melhorada gradualmente até que um determinado critério de parada seja atingido. Cada nova solução gerada é calculada após recombinações sucessivas aplicadas nas soluções atuais e passadas por meio das equações:

$$X_t = X_{t-1} + V_t, \tag{7}$$

em que V_t é a velocidade da partícula na iteração t, dada por:

$$V_t = w_I^* V_{t-1} + w_A^*(X_{st} - X_{t-1}) + w_C^* C(X_{gb}^* - X_{t-1}). \tag{8}$$

Nas quais t é a geração corrente, X é a solução corrente, X_{gb} é a melhor solução na geração anterior, V_t é a velocidade da solução (partícula), C é uma matriz diagonal a $n \times n$ de variáveis aleatórias amostradas a cada iteração (com probabilidade P de comunicação), w_I, w_A e w_C são pesos relacionados à inércia, assimilação e comunicação, respectivamente. O subscrito * indica que o parâmetro sofre mutação e st é a estratégia DE/best/1/bin do algoritmo DE e no qual F é a taxa de perturbação no intervalo [0,2].

A aplicação do C-DEEPSO visa encontrar uma solução que irá otimizar o COE, a LPSP e o RS. O vetor solução X possui 4 dimensões, cada uma com um limite inferior e superior. Os elementos são, respectivamente: dias de autonomia [1, 3], geração fotovoltaica [10, 150] em kWh, número de turbinas eólicas [1, 8] e número de casas [1, 30]. Os pesos são calculados da seguinte forma: $w_I = 0,7298$, $w_A = 1 \cdot rand_i$, $w_C = 1 \cdot rand_i$, sendo $rand_i$ uma variável aleatória amostrada segundo uma distribuição uniforme no intervalo [0, 1] a cada iteração. A mutação é feita com a multiplicação dos pesos por um valor gerado aleatoriamente, com a mesma distribuição de $rand_i$. É utilizado 100% de probabilidade de comunicação, tornando $C_{n\times n}$ equivalente à matriz identidade. X_{st} representa a melhor posição da partícula em questão e, junto a X_{gb}, são atualizadas na fase de seleção se essas variáveis obtiverem o menor valor na função de avaliação. O tamanho da população e o número de iterações são iguais a 10.

3. Viabilidade da Construção de dashboard para Visualização dos resultados

De acordo com a definição dada em [Rasmussen et al., 2009], dashboard é uma área (como um painel) que apresenta dados em formas de gráficos, tabelas, mapas, entre outros e tem como função auxiliar o monitoramento de métricas correspondentes ao assunto abordado. O uso de dashboards pode trazer benefícios para a tomada de decisões pois torna identificável a tendência que os dados estão seguindo, além de trazer melhorias à produtividade dos usuários por sintetizar as informações, economizar o tempo que eles usariam para obtê-las e permitir uma maior e mais rápida compreensão devido aos tipos de visualizações gráficas, como gráficos de linhas ou colunas. A literatura recente contém poucos trabalhos que utilizam dashbord para visualização de dados de sistemas HMGS. Um estudo apresentado em [da Silva et al., 2024] apresenta uma interface web como solução para a visualização em tempo real de dados oriundos da operação da microrrede LabREI, em Campinas, São Paulo.

O artigo [Laureano et al., 2020] propõe o desenvolvimento de um painel para monitorar falhas em redes elétricas inteligentes. Utilizando a metodologia CRISP-DM e com base em entrevistas com especialistas, foram definidos indicadores e visualizações relevantes para acompanhar o desempenho da rede. O painel, avaliado como útil e fácil de usar, permite o monitoramento tático com dados semanais e mensais, oferecendo uma solução aplicável tanto por distribuidoras quanto por seus clientes. Em [Shen et al., 2025] o desenvolvimento de um sistema de visualização para microrredes, integrando dados de simulações eletromagnéticas. O sistema processa e exibe os resultados das simulações, como a distribuição de fluxo de energia, por meio de uma plataforma interativa. A arquitetura adotada separa as camadas de apresentação e processamento, permitindo uma visualização intuitiva do estado da microrrede e facilitando a tomada de decisões operacionais em tempo real. O artigo [Patil et al., 2024] explora a integração entre sistemas eólico-solares

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212420
https://proceedings.science/p/212420?lang=pt-br

conectados à rede e o comércio de energia peer-to-peer (P2P) como solução para os desafios de estabilidade da rede diante do crescimento das fontes renováveis. Com o aumento da geração distribuída, torna-se essencial lidar com o aproveitamento do excedente de energia e a manutenção da estabilidade do sistema elétrico. O modelo P2P permite que prosumidores (produtores e consumidores simultaneamente) troquem energia diretamente, promovendo eficiência e descentralização. Por meio de simulações e do desenvolvimento de um dashboard intuitivo, o estudo demonstra a viabilidade técnica e os benefícios dessa abordagem para os usuários e para a rede, destacando seu potencial para um futuro energético mais sustentável e justo.

Nesse sentido, seguindo a mesma lógica de desenvolvimento dos trabalhos mencionados, o uso de um dashboard como solução para a visualização dos dados da modelagem e otimização aqui propostas é justificado devido à forma de organização das informações e pela facilidade na identificação de padrões, anomalias e tendências relevantes para a tomada de decisão, como proposto por [Rasmussen et al., 2009]. Além disso, vale ressaltar que a solução apresentada nesse artigo busca se diferenciar dos demais trabalhos através das funcionalidades adicionais propostas, como o campo para anotações dentro e fora dos gráficos, execução da simulação do algoritmo evolutivo C-DEEPSO e a geração de alertas em anormalidades nos dados. Neste trabalho, o uso do dashboard auxilia na visualização das tendências de produção energética pelas fontes de energia renovável (painéis fotovoltaicos e turbinas eólicas), demanda energética e séries temporais (irradiação solar e velocidade do vento) por meio de gráficos de linha, valores de carga e descarga nas baterias em gráficos de coluna, além das métricas obtidas na aplicação do C-DEEPSO em *cards* (pequenas caixas) no topo do dashboard, sendo elas: RS, $LPSP$, COE, número de casas, número de turbinas eólicas e geração máxima dos painéis. Um diferencial desse trabalho em questão é a interatividade implementada nos gráficos, permitindo *zoom in and out*, a adição de comentários em pontos selecionados ou um comentário geral, em formato de bloco de notas e o início do desenvolvimento dos avisos de anormalidade nos gráficos.

4. Metodologia e Desenvolvimento da Visualização de Dados via dashboard

A construção da solução proposta exigiu uma abordagem mais sistemática inicializada pela análise profunda dos códigos implementados para simulação do HMGS implementados em Python. De modo paralelo, realizou-se um levantamento detalhado dos requisitos funcionais e não funcionais do sistema, especificando as necessidades de cada perfil de usuário. Em um primeiro momento, focou-se em compreender a lógica por trás do algoritmo de otimização, a fim de identificar os dados de entrada e saída. Desse modo, os dados de entrada são provenientes de arquivos texto, tais dados foram coletados em [Jimenez-Fernandez et al., 2019; Mallol-Poyato et al., 2016; SODA, 2022] com informações meteorológicas do Complexo Eólico de Osório, no Rio Grande do Sul, além da criação de um arquivo de texto adicional contendo valores arbitrários para a demanda energética simulada para um ano, considerando fatores como horários de pico e estações do ano. Os dados utilizados para cada arquivo são a radiação solar, a temperatura, a velocidade do vento e a demanda energética. A partir desses dados, a otimização do sistema é realizada. As saídas da modelagem são armazenados em duas planilhas distintas:

- **Results_opti_ind_RFV.xlsx** - contém as médias da probabilidade de perda de carga no suprimento, do preço da energia elétrica e do fator renovável.

- **Results_ali_ind_RFV.xlsx** - contém as médias e algumas somas dos seguintes dados: da energia do painel fotovoltaico, energia do vento, energia da bateria, descarga da bateria , carga da bateria, energia excedente, net-metering, medição de crédito, total de energia produzida pelas diversas fontes, total de energia excedente e o total de carga e descarga da bateria.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212420
https://proceedings.science/p/212420?lang=pt-br

A análise detalhada das entradas e saídas da simulação realizada permitiu o mapeamento das funcionalidades do modelo de simulação para a inicialização do estudo dos tipos de visualização de dados a serem utilizados no dashboard. A escolha dos tipos de gráficos levou em consideração a tipagem dos dados e a necessidade da fácil leitura e interpretação dos resultados. Portanto, as representações gráficas escolhidas foram:

- Série temporal da energia limpa produzida pelos painéis fotovoltaicos e pelas microturbinas;
- Barras verticais para o monitoramento de carga e descarga da bateria;
- Série temporal comparativa entre a energia total produzida e a demanda energética;
- Desempenho geral da microrrede (união dos dados de produção de energia, carga da bateria, net-metering e energia do grid público);
- Série temporal comparativa entre a energia total produzida e a compensação energética;
- Barras verticais para a carga e descarga das baterias;
- Séries temporais para dados meteorológicos (irradiação solar e vento).

A partir dessas escolhas, o projeto de construção do dashboard seguiu para o levantamento de requisitos, de modo que abrangessem as representações escolhidas.

4.1. Levantamento de requisitos

Para manter a documentação do sistema atualizadas de acordo com as novas necessidades, foram realizadas duas versões do levantamento de requisitos permitindo a manutenção do sistema no futuro. Nesta etapa, foram definidos os principais elementos do sistema.

- Escopo – o objetivo do sistema é otimizar a eficiência na geração de energia enquanto minimiza o custo de operação, além de manter uma boa relação com o meio ambiente a partir da geração de energia limpa e com uso de fontes renováveis. O foco em questão é o atendimento das análises qualitativas e quantitativas promovidas pelos pesquisadores e consumidores, comerciais, industriais e residenciais com a visualização dos dados;
- Stakeholders – são os usuários da simulação da microrrede. Podem ser subdivididos em pesquisadores, onde estão interessados em analisar os dados provenientes da microrrede, e os consumidores finais, os quais consomem a energia gerada e armazenada pela microrrede;
- Requisitos – consistem na documentação das definições que o sistema deve atender, assim, foram categorizados em três tipos
  - Requisitos de negócio: É atendido ao se analisar o aproveitamento das baterias da microrrede, entender as tendências durante a captura de energia de uma área estudada e exibir valores da troca de energia com a rede pública;
  - Requisitos funcionais: dizem respeito às funcionalidades presentes na aplicação web, dentre os quais foram separados em requisitos de navegação do site e requisitos de visualização para cada perfil (usuário pesquisador e consumidor);
  - Requisitos não funcionais: fornecem limitações para desempenho, usabilidade e compatibilidade do sistema.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212420
https://proceedings.science/p/212420?lang=pt-br

4.2. Implementação

A implementação do dashboard foi realizada utilizando as seguintes linguagens: Hypertext Markup Language (HTML) para estruturação, Cascading Style Sheets (CSS) para estilização e JavaScript para animações, interações e integração com a base de dados. As mesmas foram escolhidas devido a sua ampla adoção no cenário de desenvolvimento web, além dos diversos recursos de suporte disponíveis. Para a criação dos gráficos optou-se pela biblioteca ApexCharts ape. O ApexCharts é uma biblioteca de código aberto que permite a criação e a personalização de gráficos interativos. Sua facilidade de uso e documentação detalhada foram os principais fatores que motivaram sua escolha.

O dashboard é dividido em duas partes principais: o frontend, cujo apresenta os dados ao usuário e permite a interação com os gráficos, e o backend, que é responsável pelo processamento das informações e comunicação com o banco de dados. A solução provida pelo Google Firebase fir fornece tanto o banco de dados onde as informações do sistema são armazenadas quanto a hospedagem. Desse modo, a infraestrutura para o sistema está concentrada nesta plataforma.

A interação entre o usuário e o sistema é dada da seguinte forma: ao digitar o endereço do dashboard (URL) no navegador, ele está solicitando a página ao servidor. O mesmo, por sua vez, processa essa solicitação e envia a página para o navegador do usuário que a solicitou. Ao navegar pela aplicação, o usuário pode se identificar (pois há uma validação com os dados já armazenados no banco do Firebase) ou entrar como convidado apenas para visualizar os dados, sem salvar qualquer outro dado pessoal. Ao optar pela identificação, o usuário pode entrar em uma conta já cadastrada anteriormente, onde os dados providos são: obrigatórios (Nome, E-mail, Senha) e opcionais (Formação acadêmica, Área de Pesquisa, Currículo Lattes e Perfil Linkedin).

Atualmente, apenas o perfil de pesquisador está sendo contemplado para cadastro e uso do dashboard. Esse foco inicial se deve ao fato da necessidade de validar o uso do dashboard para garantir o atendimento às expectativas mencionadas nos requisitos, e a opção por esse perfil foi motivada pela maior facilidade de contatar pesquisadores da área de geração e armazenamento de energia, onde seriam os primeiros usuários do sistema capazes de promover feedbacks. A adaptação da plataforma para o perfil consumidor é visto como um próximo passo do trabalho. Após o credenciamento do pesquisador com os dados pessoais ou como convidado, ocorre o redirecionamento para o dashboard, que contém as principais funcionalidades do sistema. Dentre elas, destacam-se:

- Navegação na página via menu lateral, que contém o nome dos gráficos e, ao ser clicado, redireciona a tela para onde ele está;
- Botão para rodar a simulação do C-DEEPSO, onde se escolhe o número de iterações e o período de tempo a ser considerado. Ao confirmar, o código do algoritmo desenvolvido por Acioly Filho et al. [2024] é executado com os parâmetros selecionados;
- Cards com os valores que a execução da simulação retorna;
- Gráficos com os dados explicitados na seção 4, onde cada gráfico possui:
  - Botão para escolher o período de tempo (mês, semestre ou ano) em foco no gráfico;
  - Botão para adicionar um pequeno comentário no ponto de uma determinada data do gráfico;
  - Área de comentário geral (como um bloco de notas);
  - Opção para download dos dados em formato tabular (CSV) ou visual (PNG e SVG).
- Menu de navegação superior para desconectar-se do sistema e voltar à tela inicial.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212420
https://proceedings.science/p/212420?lang=pt-br

No momento, testes iniciais para o display de avisos de anormalidade nos dados dos gráficos estão sendo desenvolvidos para entender as características de cada tipo de gráfico. Um exemplo pode ser visto pela Figura 2. Os gráficos de série temporal de irradiação solar e vento apresentam uma linha horizontal tracejada que indica o valor médio de todo o período avaliado, que auxilia o usuário a entender quando foram registrados valores acima e abaixo dessa média e os fatores que levam a isso, como as estações do ano (que são, de fato, cruciais para esses dados). Um próximo passo do trabalho é entender melhor cada tipo de dado trabalhado e possíveis relações entre eles, para que uma determinada métrica seja analisada precisamente e indique alguma irregularidade nos valores obtidos. Todas as telas foram implementadas, primeiramente, para desktops. Outro trabalho futuro é adaptar o sistema para telas menores (como celulares e tablets) e ampliar a compatibilidade da aplicação.

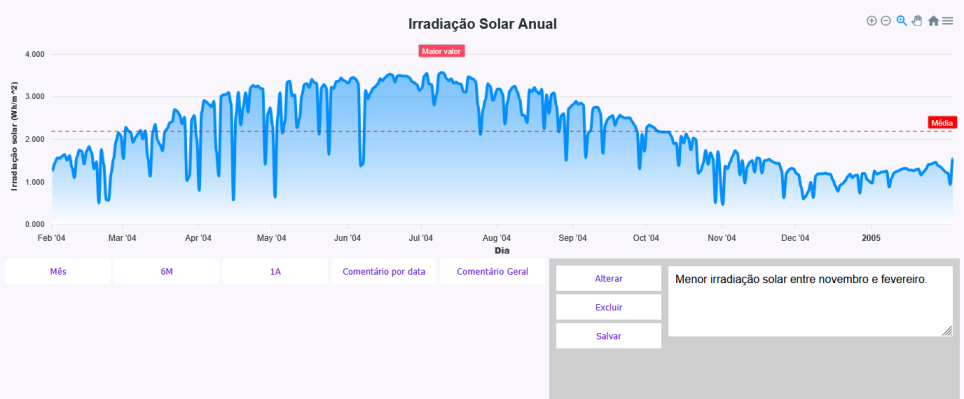

Figura 2: Captura do gráfico de irradiação solar com comentários e aviso da média

5. Resultados Obtidos

Em linha com os objetivos propostos, a ferramenta desenvolvida tem como principal propósito oferecer suporte aos pesquisadores e produtores/consumidores de energia da microrrede. As imagens a seguir ilustram alguns gráficos implementados com a finalidade de demonstrar o estado atual da ferramenta do sistema de simulação e visualização implementado. A versão de testes está disponível em (`https://dashboard-energia.web.app/`). Após criação de login e acesso ao sistema, ou até mesmo realizando acesso como convidado, o sistema tem a opção de iniciar uma simulação da microrrede. A Figura 3 apresenta a visualização inicial.

O usuário poderá clicar em Simulação. Após a execução do modelo de simulação, os resultados sumarizados são apresentados na tela do dashboard. Inicialmente, os gráficos eram gerados a partir de uma interação estática com a simulação da microrrede, ou seja, os dados eram coletados e exibidos sem a possibilidade de atualização dinâmica da simulação. Com a evolução do projeto, o foco passou a ser a transformação do sistema de uma abordagem estática para uma dinâmica, com o intuito de permitir que o pesquisador executasse internamente a simulação do algoritmo C-DEEPSO e, desse modo, gerasse de maneira automatizada os gráficos e métricas no intervalo desejado para as pesquisas. O processo de transição para o sistema dinâmico envolve a utilização de um servidor que possa processar e gerar os gráficos em tempo real. Atualmente, a simulação é realizada em um servidor interno, que processa os dados e os gera nos gráficos conforme um intervalo de tempo definido manualmente por meio de botões.

Para viabilização deste processo, foi necessário modificar o código dos algoritmos utilizados, originalmente desenvolvidos em Python, para integrar um filtro de simulação que permita uma interação mais eficiente com o sistema. Essa alteração auxilia a pesquisa e a análise de dados

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212420
https://proceedings.science/p/212420?lang=pt-br

Figura 3: Simulação e sumário de resultados

mais precisa e detalhada conforme a necessidade de cada pesquisador. O objetivo final deste processo é que o sistema seja capaz de rodar as simulações de maneira ágil e automática, permitindo ao pesquisador alterar a execução da simulação a qualquer momento. A Figura 4 exemplifica a saída dinâmica de uma simulação do sistema dadas as entradas das séries temporais de vento e radiação solar.

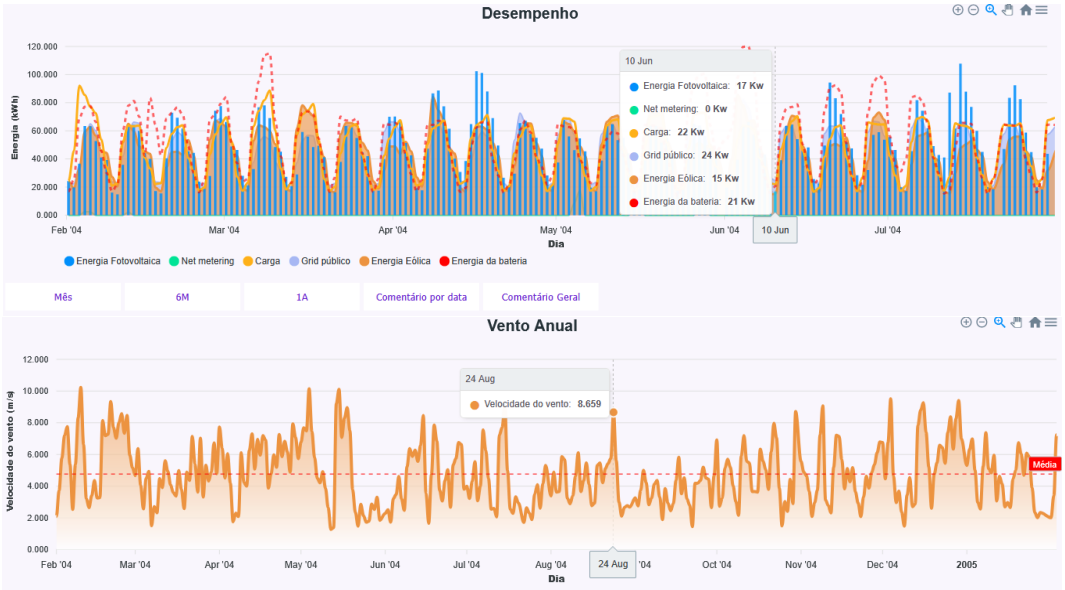

Figura 4: Saída gráfica da geração de eletricidade via HMGS.

6. Conclusão

A metodologia adotada para o desenvolvimento fornece indicativos que a visualização gráfica dos números referentes aos dados meteorológicos e aos componentes da microrrede pode contribuir para a descoberta de padrões (antes ocultos) de comportamento ao longo do período de tempo avaliado. Além disso, foi possível transformar informações complexas e de grande volume numérico de dados em insights visuais acessíveis a pesquisadores e, possivelmente, consumidores da microrrede. As visualizações e organizações das informações propostas visam apoiar a análise de possíveis ocorrências do contexto de uso, identificar benefícios e desvios nas configurações atuais e permitir tomadas de decisões mais assertivas para novas configurações que possam melhorar o

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212420
https://proceedings.science/p/212420?lang=pt-br

desempenho e a eficiência da microrrede. Embora esse trabalho esteja no mesmo escopo de outras soluções baseadas em dashboard para visualização de dados no domínio da geração e armazenamento de energia via sistemas de microrrede inteligentes, este trabalho visa, além de complementar as propostas existentes no mercado, apresentar certos diferenciais que podem ajudar a facilitar a leitura e análise dos dados feita pelo usuário. Entre esses diferenciais, destacam-se: (1) As interações com o gráfico, por meio da seleção do período de tempo a ser mostrado no quadro via botões ou pressionando e arrastando o cursor sobre o gráfico; (2) A possibilidade de baixar os dados apresentados em formato tabular (CSV) ou visual (PNG e SVG); (3) Os campos para realizar comentários sobre os dados de cada gráfico; (4) A geração de alertas para anormalidades nos dados; e, (5) A execução do algoritmo C-DEEPSO numa simulação da microrrede. Todas essas funcionalidades disponibilizadas para o usuário não se restringem a um uso único. As interações são registradas e armazenadas, permitindo consultas futuras. No que tange aos próximos passos do desenvolvimento dessa solução, pode-se propor a criação de um perfil para o produtor/consumidor da microrrede, com adaptação dos gráficos para melhor leitura e entendimento dos termos relacionados à geração e armazenamento de energia, visto que esses usuários podem não ter completa familiaridade com a terminologia técnica utilizada, além da apresentação de outros dados que possam ser de interesse desse perfil a fim de ter um maior controle acerca do uso da energia e o gasto com ela. É necessário, também, aumentar a compatibilidade do sistema com diferentes tipos de tela (além do desktop) através do desenvolvimento responsivo e aprimorar a funcionalidade de aviso de anormalidade por meio do investimento em estudos relativos a cada tipo de dado apresentado no dashboard e entender o que pode ou não pode ser considerado dentro dos padrões esperados em um HMGS. Adicionalmente, pretende-se permitir que o usuário possa inserir dados relativos à sua região e usufruir dos benefícios através do uso do dashboard apresentados nesse trabalho para guiar futuras decisões.

7. Agradecimentos

Este trabalho foi parcialmente financiado pelas agências de fomento brasileiras: CNPq-Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Grant Number 403964/2023-7), FAPERJ - Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (Grant Numbers E-26/210.057/2024, E-26/210.549/2024, E-26/201.345/2024). À CAPES-Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Grant Number - 23038.006308/2021-70). UFRJ ALV Grant. Os autores agradecem a infraestrutura disponibilizada pela UFRJ.

Referências

Apexchart. URL `https://apexcharts.com/`.

Google firebase. URL `https://firebase.google.com/?hl=pt-br`.

Acioly Filho, L. V., Cardoso Leite, G. M., Jiménez-Fernández, S., Salcedo-Sanz, S., Moreira Delgado, C. A. D., e Marcelino, C. G. (2024). Decision-aid applied to rank diverse energy storage systems technologies: A methodology using information fusion concepts. In Pereira, A. I., Fernandes, F. P., Coelho, J. P., Teixeira, J. P., Lima, J., Pacheco, M. F., Lopes, R. P., e Álvarez, S. T., editors, *Optimization, Learning Algorithms and Applications*, p. 80–94, Cham. Springer Nature Switzerland.

Borhanazad, H., Mekhilef, S., Gounder-Ganapathy, V., Modiri-Delshad, M., e Ali, M. (2014). Optimization of micro-grid system using MOPSO. *Renewable Energy*, 71:295–306. ISSN 0960-1481.

da Silva, J. A. A., Garcia, D. C. T., Amézquita, C. G. S., J. C. L., Rider, M. J., e da Silva, L. C. P. (2024). Gerenciamento de energia em tempo real da microrrede labrei. In *In Anais Congresso Brasileiro De Energia Solar-CBENS*, p. 1–10, Natal.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212420
https://proceedings.science/p/212420?lang=pt-br

Jimenez-Fernandez, S., Camacho-Gomez, C., Mallol-Poyato, R., Fernandez, J., J., Portilla-Figueras, A., e Salcedo-Sanz, S. (2019). Optimal microgrid topology design and siting of distributed generation sources using a multi-objective substrate layer coral reefs optimization algorithm. *Sustainability*, 11(1):169.

Kharrich, M., Mohammed, O., Alshammari, N., e Akherraz, M. (2021). Multi-objective optimization and the effect of the economic factors on the design of the microgrid hybrid system. *Sustainable Cities and Society*, 65:102646. ISSN 2210-6707.

Laureano, R. M. S., Laureano, L. M. S., e Sanz, A. C. P. (2020). Dashboard to monitor outages in a smart grid. In *2020 15th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, p. 1–7.

Mallol-Poyato, R., Jimenez-Fernandez, S., Diaz-Villar, D., e Salcedo-Sanz, S. (2016). Joint optimization of a microgrid's structure design and its operation using a two-steps evolutionary algorithm. *Energy*, 94:775–785. ISSN 0360-5442.

Marcelino, C., Baumann, M., Carvalho, L., Chibeles-Martins, N., Wanner, E., Almeida, P., e Weil, M. (2020). A Combined Optimization and Decision Making Approach for Battery Supported HMGS. *Journal of the Operational Research Society*, 71:762–774.

Marcelino, C. G., Almeida, P. E. M., Wanner, E. F., Baumann, M., Weil, M., Carvalho, L. M., e Miranda, V. (2018). Solving security constrained optimal power flow problems: a hybrid evolutionary approach. *Applied Intelligence*, 48:3672–3690. ISSN 1573-7497.

Marcelino, C., Leite, G., Wanner, E., Jiménez-Fernández, S., e Salcedo-Sanz, S. (2023). Evaluating the use of a net-metering mechanism in microgrids to reduce power generation costs with a swarm-intelligent algorithm. *Energy*, 266:126317. ISSN 0360-5442. URL `https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544222032030`.

Pasquali, d. S. V. R. R. F. S. d. S. I. T. S. J. J. C. R. A. T. P. W. S., T. E. (2024). Criação de dashboards analíticos em python para tomada de decisão. *Criação de dashboards analíticos em Python para tomada de decisão*, 21(8):e6539–e6539.

Patil, N. N., Dubey, Y., Himani, M., Ramprabhakar, J., R, A., e Meena, V. P. (2024). Energy trading interface for grid-tied wind-solar power generation system. In *2024 Control Instrumentation System Conference (CISCON)*, p. 1–6.

Rasmussen, N. H., Bansal, M., e Chen, C. Y. (2009). *Business dashboards: a visual catalog for design and deployment*. John Wiley & Sons.

Shen, H., Liu, Y., Xie, X., Huang, C., Qiu, H., e Teng, B. (2025). Design and development of a microgrid visualization data dashboard system. In Yang, Q. e Li, J., editors, *The Proceedings of the 11th Frontier Academic Forum of Electrical Engineering (FAFEE2024)*, p. 513–520, Singapore. Springer Nature Singapore.

SODA (2022). Solar radiation and meteorological data services to optimize solar energy production toward a sustainable future. Available in 16th march 2022: https://www.soda-pro.com/.

Zhuang, C. D. M. E., M. (2022). A framework for evaluating dashboards in healthcare. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 28(4):1715–1731.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212420
https://proceedings.science/p/212420?lang=pt-br