



## Eficiência energética

Por Rodolfo Quadros, Luiz Carlos da Silva, Juan Amézquita,  
Danúsia Ferreira, João Yutaka Ota e João Guilherme Cypriano\*

# Capítulo VI

## Eficiência energética e as microrredes

As mudanças climáticas e a poluição ambiental têm impulsionado a sociedade a buscar fontes de energia elétrica renovável, que ao mesmo tempo sejam confiáveis e resilientes, haja vista que as fontes renováveis são dependentes das condições climáticas e da coordenação entre a demanda e geração, cuja implantação se torna um desafio para a transição energética que engloba sistemas inteligentes, eficiência energética e gestão integrada dos recursos [1]. Por outro lado, como alternativa para a expansão da estrutura dos sistemas elétricos tradicionais e para maximizar a inclusão de fontes renováveis de energia dentro do modelo de Geração Distribuída (GD), surgem as microrredes. As microrredes podem ter características elétricas e arquiteturas compostas por sistemas em corrente alternada (CA), corrente contínua (CC) ou híbridas [2]. É possível classificar as microrredes em conectadas ao sistema elétrico de potência (SEP) ou isoladas [3]. Porém, é certo que a principal característica de uma microrrede conectada é a capacidade de operar em modo conectado e ilhado, sendo entendidas como “uma rede de energia local com capacidade de controle, o que significa que pode se desconectar da rede tradicional e operar de forma autônoma” [6]. Com esses dois modos de operação, aliado a funcionalidades específicas, as microrredes podem proporcionar ganhos econômicos, ambientais e de confiabilidade no fornecimento de energia.

=Cada vez mais iniciativas de implantação e regulamentação de microrredes têm surgido no mundo. Destaca-se a iniciativa no estado de Nova Iorque nos EUA, onde a compreensão do conceito de microrredes já está em nível avançado e propostas regulatórias vêm sendo discutidas [4]. Projetos pilotos podem ser encontrados em diversos países, inclusive na América Latina. No Brasil, a Copel lançou um edital para chamada pública de contrato de energia por GD e formação de microrredes, com o objetivo de promover um

“sandbox regulatório” para estabelecer parâmetros para que agentes do setor possam gerar e promover inovações no futuro [5].

### ASPECTOS TECNOLÓGICOS

A gestão e o controle de uma microrrede são subdivididos em três níveis hierárquicos envolvendo controle de tensão, frequência, potência, proteção, conexão/desconexão, otimização, blackstart, previsões de geração, previsões de consumo e operações de mercado visando o gerenciamento dos custos da energia elétrica [7],[8]. No modo ilhado, o foco principal é o controle de tensão e frequência, já no modo conectado, a preocupação é com o controle das potências ativa e reativa. O sistema de controle energético das microrredes consiste em software e hardware necessários para gerenciar os recursos energéticos distribuídos do sistema, podendo ser implementado de forma centralizada ou descentralizada [8], onde cada alternativa possui vantagens e desvantagens, como pode ser verificado no Quadro 1. A escolha por um ou outro sistema depende dos objetivos pretendidos com a microrrede, seja este baseado em capacidade de gerenciamento, custo, eficiência, tolerância a falhas ou expansão [9].

Para que as operações da microrrede ocorram de forma autônoma da operação da distribuidora é necessário um sistema de gerenciamento de energia (Energy Management Systems - EMS), o qual recebe os dados das cargas e dos recursos distribuídos de energia disponíveis e os processa para coordenar o despacho em tempo real de acordo como as funcionalidades disponíveis e os níveis hierárquicos de controle.

No nível de controle primário a atuação é local e, geralmente, em uma escala de tempo inferior a segundos para garantir estabilidade de tensão, frequência e balanço de potência nas variações de

**QUADRO 1- COMPARAÇÕES ENTRE TÉCNICAS DE CONTROLE CENTRALIZADO E DESCENTRALIZADO [9].**

Centralizado	Descentralizado
Melhor capacidade de gerenciamento de energia	Boa capacidade de gerenciamento de energia
Não é possível obter todos os dados pelo Controlador Central da Microrrede	Sistema multiagente fornece a cada controle independente informações sobre seu vizinho
Um fluxo significativo de dados necessários para produzir resultados semelhantes (comunicação global e síncrona)	Rede de dados localizada e troca de informação necessária para comunicação do sistema multiagente (comunicação local e assíncrona)
Difícil e caro	Comparativamente fácil e barato
O Controlador Central de Microrrede deve ser programado	Coordenação pode ser alcançada sem qualquer modificação nos controladores locais
Caro	Barato
Modelo de rede global	Modelo de rede local
Mais eficiente	Menos eficiente
A implementação de controladores complexos é um pouco mais fácil	A implementação de controladores complexos é difícil
Baixa capacidade de tolerância a falhas	Melhor capacidade de tolerância a falhas
É necessária reconexão para inclusão de novos recursos energéticos distribuídos.	Sistema multiagente capaz de instalar sistemas modulares e escalonáveis com alta precisão

consumo ou geração [7]. No nível de controle secundário, a atuação é via EMS em uma escala de tempo de segundos a minutos, em regime permanente, com intuito de estabilizar as variações de tensão, frequência e potência a valores aceitáveis remanescentes do nível de controle primário [7]. Já o nível de controle terciário também tem atuação via EMS, porém em uma escala de tempo de minutos, horas, dias ou meses com intenção de otimização dos recursos elétricos distribuídos, redução de custos e busca pela operação econômica da microrrede [7].

A Figura 1 ilustra o arranjo de uma microrrede CA, composta

por recursos energéticos distribuídos (REDs): sistema de armazenamento de energia (Battery Energy Storage System – BESS), gerador eólico, grupo motor gerador (GMG) a diesel ou gás natural, gerador fotovoltaico (FV), cargas, eletroposto, EMS, medidores de energia, chave de interconexão no ponto de acoplamento comum (PAC), rede elétrica e rede de comunicação. No Quadro 2 estão destacadas as principais diferenças entre os sistemas tradicionais e as microrredes, no qual se destacam a operação ilhada, o sistema de armazenamento BESS e o sistema de gerenciamento EMS como elementos essenciais das microrredes conectadas.

## Termostatos para Painéis KTO 111 & KTS 111



- Conexão rápida sem ferramenta
- Conexão segura com terminal Push In
- Entradas de ar ampliadas para melhor ventilação
- Ajuste fácil de temperatura de chaveamento
- Para uso em até 5.000 metros de altitude

### MAIS INFORMAÇÕES

[www.stego.com.br](http://www.stego.com.br)
[info@stego.com.br](mailto:info@stego.com.br)
 +55 (12) 3632 5070

[stegodobrasil](https://www.facebook.com/stegodobrasil)

[@stegodobrasil](https://www.instagram.com/stegodobrasil)

[Stego do Brasil](https://www.linkedin.com/company/stego-do-brasil)



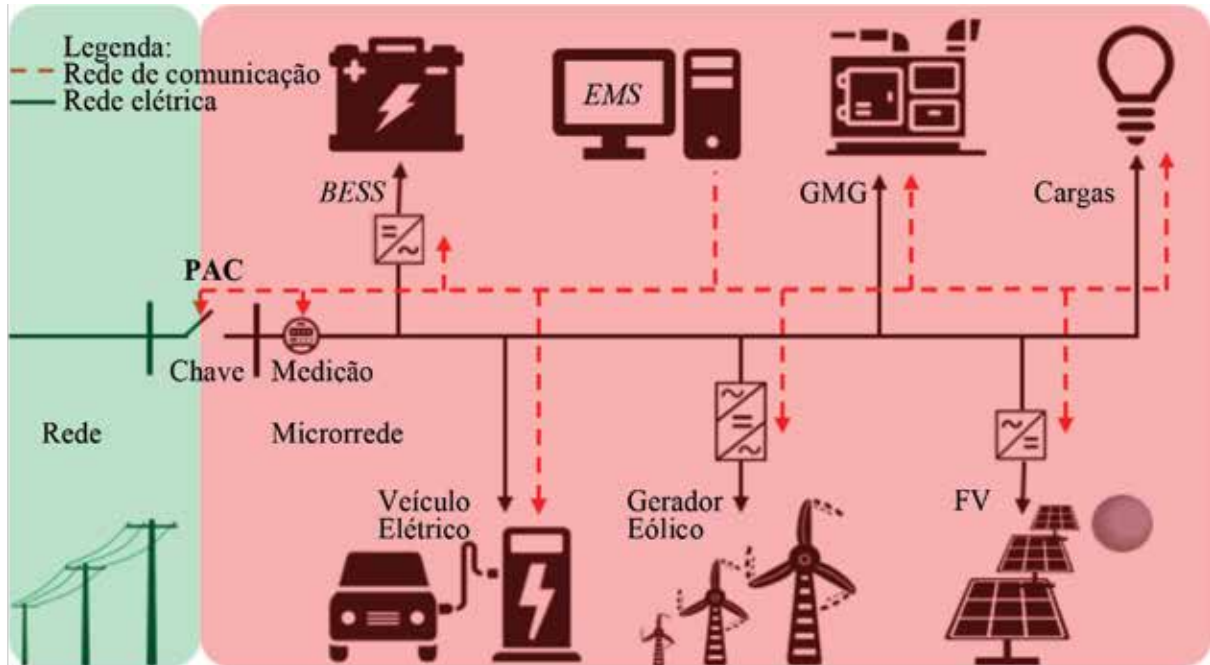


Figura 1 – Arranjo de uma microrrede CA conectada.

QUADRO 2 - PRINCIPAIS DIFERENÇAS ENTRE OS SISTEMAS TRADICIONAIS E MICRORREDES CONECTADAS

Características	Sistema tradicional	Microrrede
Operação ilhada da rede elétrica		✓
Chave de conexão/desconexão telecomandada		✓
Fluxo de potência bidirecional	✓	✓
Sistema de comunicação		✓
Sistema de armazenamento BESS		✓
Sistema de gerenciamento EMS		✓

Para o sistema de comunicação são utilizadas diferentes tecnologias (Serial, Ethernet, fibra óptica ou transmissão sem fio) cuja escolha leva em consideração custos, distâncias, dados a serem transmitidos, segurança, confiabilidade e desempenho em tempo real [3]. Outro fator extremamente importante em uma microrrede é a interoperabilidade entre dispositivos e EMS, haja vista que este atua nos níveis secundário e terciário de controle, por meio do sistema de comunicação via protocolos de comunicação. Os equipamentos das microrredes têm a tendência de adotar o mesmo protocolo de comunicação do controlador principal (ou seja, do EMS) [10]. Dentre os protocolos padrões abertos, os mais utilizados são o IEC 61850, DNP 3.0, Modbus, Profibus, TCP/IP, dos quais o protocolo IEC 61850 é considerado o mais indicado para aplicação em microrrede devido à sua alta velocidade, alta confiabilidade e altos níveis de segurança, especialmente contra ataques cibernéticos [10].

Outro fator importante das microrredes é a possibilidade de controle direto sobre as cargas, cujos objetivos se diferem nos modos operacionais [11]. No modo desconectado, o EMS tem como alvo

a confiabilidade para atendimento das cargas classificadas como ininterruptas, as quais têm relação com situações que envolvam riscos de lesão corporal, perdas econômicas severas e interrupção de trabalho [3]. O outro grupo é classificado para cargas intermitentes e que podem ser desligadas ou reduzidas em situações de emergência [3]. No modo conectado, o foco do EMS é a busca do ponto ótimo de operação de todos os dispositivos da microrrede, neste sentido, o controlador da microrrede atuará sobre as cargas controláveis como aparelhos de iluminação, sistemas de condicionamento de ar, sistemas de ventilação, sistemas de bombeamento, etc. Com o controle sobre as cargas o EMS tem a possibilidade de melhorar a prestação dos serviços voltados ao conforto, saúde e segurança e ainda obter ganhos econômicos e ambientais conforme preceitos da eficiência energética.

## PROJETOS NA UNICAMP

A Unicamp, por meio do Escritório de Projetos Especiais - Campus Sustentável, tem desenvolvido múltiplos projetos de eficiência energética (PEE) e pesquisa e desenvolvimento

(P&D) na área de energia elétrica, tendo o campus “Cidade Universitária Zeferino Vaz” na cidade de Campinas, São Paulo, como um laboratório vivo para o desenvolvimento de 14 subprojetos [12]:

- SP1 → COS - Centro de Operações
- SP2 → FV – Geração Fotovoltaica
- SP3 → MOBI - Ônibus Elétrico
- SP4 → EFEM - Retrofit na Faculdade de Engenharia Mecânica
- SP5 → GenIOT - Eficiência Energética baseada em IoT
- SP6 → CAPE - Capacitação em RH e divulgação
- SP7 → Etiquetagem de Edificações
- SP8 → Contratação de Energia Elétrica
- SP9 → Comunicação para cidades inteligentes
- SP10 → Reluz – Iluminação Pública Inteligente
- SP11 → Olhos no Futuro
- SP12 → Microrredes
- SP13 → PEEU – Programa de Eficiência Energética da UNICAMP
- SP14 → SGEU – Sistema de Gestão de Energia da UNICAMP

É neste contexto que o SP12 é proposto como um projeto de pesquisa e desenvolvimento (P&D) em microrredes, intitulado de Microgrids for Efficient, Reliable and Greener Energy (MERGE), sendo este regulado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) e financiado com recursos da CPFL Energia. O projeto MERGE iniciou-se no ano de 2020 e é executado por equipes da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), da Universidade Federal do Maranhão (UFMA) e do Instituto Avançado de Tecnologia e Inovação (IATI).

O projeto MERGE tem como metas o desenvolvimento de conhecimentos para antecipar oportunidades, propor soluções para deficiências ou problemas e gerar valor agregado no contexto de aplicação de microrredes no Brasil. Para tanto, estudos e implantação para quatro microrredes são propostos: LabREI, NANOGRID, CAMPUSGRID e CONGRID, cujas características elétricas dos Recursos Energéticos Distribuídos (REDs) estão dispostas no Quadro 3.

O LabREI proporcionará o ambiente laboratorial e de testes para certas tecnologias que possam ser aplicadas nas CAMPUSGRID, NANOGRID e CONGRID, as quais serão implementadas em campo [12]. O nível de conhecimento acompanha o nível de risco e a complexidade particulares de cada microrrede, impulsionando oportunidades de inovações disruptivas, marcando o protagonismo integrador do desenvolvimento científico, tecnológico e das aplicações experimentadas que aponta desafios para o processo de elaboração de uma matriz de conhecimento que possa contribuir com os avanços nos currículos dos cursos de engenharia e, conseqüentemente, com a formação de recursos humanos para atuar no segmento de microrredes.

### OPORTUNIDADES E DESAFIOS

Uma característica essencial dos projetos de microrredes é a interdisciplinaridade no qual tem-se oportunidades e desafios para a gestão do conhecimento e a governança dos saberes convergentes [13]. O planejamento, a organização sistêmica e a intersetorialidade dos stakeholders, com foco nos avanços científicos e tecnológicos, são etapas essenciais na concepção e implantação de microrredes. Neste contexto, a epistemologia da interdisciplinaridade apresenta-se como abordagem da concepção e da ação metodológica promotora das alianças intersetoriais e da governança, como meios e padrões de articulações sistêmicas envolvendo os parceiros no desenvolvimento de microrredes.

Neste sentido, estão postos relevantes desafios para o futuro das microrredes, o que exige dos diversos atores envolvidos o compromisso com a construção de conhecimento interdisciplinar avançado para:

- a) manter a segurança e a estabilidade na operação das redes de distribuição;
- b) superar o desafio de integrar diferentes REDs na operação, e que estes possam ajudar a suprir cargas ininterruptas sob condições de emergência;

**QUADRO 3 – MICRORREDES DO PROJETO MERGE**

Microrrede	Nível de Tensão	REDs
LabREI	Baixa tensão CA / Baixa tensão CC	FV 20 kWp + BESS 12 kW/12 kWh + Simulador de Rede (Conversor trifásico bidirecional) + Emuladores de FV (30 kW) + Emuladores de baterias (20 kW) + Inversores customizados + Cargas programáveis de 4-quadrantes + Banco de Cargas Passivas
CAMPUSGRID	Média tensão CA	FV 700 kWp + BESS 525 kW/810 kWh + GMG gás Natural 150 kW + GMG Diesel 40 kW + Eletroposto de Ônibus Elétrico
NANOGRID	Baixa tensão CC	FV 30 kWp + BESS 20 kW/120 kWh + Eletroposto de Veículos Elétricos
CONGRID	Baixa tensão CA	FV 64.395 kWp + BESS 100 kW/255 kWh



- c) propor ajustes na regulamentação e padrões para permitir que cenários mais eficientes, seguros, sustentáveis e economicamente viáveis;
- d) combater interrupções de energia aos consumidores (resiliência);
- e) otimizar o uso dos recursos;
- f) operar sinergicamente e coordenado;
- g) planejar a expansão e operação dos sistemas de distribuição;
- h) formar mão de obra especializada;
- i) criar modelos de negócios (como a prestação de serviços ancilares).

Transpondo tais desafios as microrredes possibilitaram o desenvolvimento mais sustentável, resiliente e com perspectiva de elevar a eficiência energética globalmente, considerando que as microrredes integram equipamentos, dispositivos, sensores, transdutores (temperatura, umidade, iluminância, etc.), data loggers etc. Os dados registrados podem ser utilizados pelo EMS nas operações em tempo real para extrair o máximo rendimento de cada componente na microrrede frente às demandas instantâneas. E como o EMS opera de forma autônoma, o elemento comportamental tende a ser minimizado, melhorando o uso dos equipamentos, bem como redução do desperdício, e prolongamento de vida útil dos mesmos.

## REFERÊNCIAS

- [1] P. Lissa, M. Schukat, M. Keane, and E. Barrett, "Transfer learning applied to DRL-Based heat pump control to leverage microgrid energy efficiency," *Smart Energy*, p. 100044, Aug. 2021.
- [2] M. Ahmed, L. Meegahapola, A. Vahidnia, and M. Datta, "Stability and Control Aspects of Microgrid Architectures—A Comprehensive Review," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 144730–144766, 2020.
- [3] IEEE Std 2030.9™–2019, *IEEE Approved Draft Recommended Practice for the Planning and Design of the Microgrid*. 2019.
- [4] The New York State Senate. "New York microgrids act". Disponível em <<https://www.nysenate.gov/legislation/bills/2019/S5114>>
- [5] COPEL. Geração distribuída para constituição de microrredes. Disponível em <<https://www.copel.com/hpcweb/microrredes/>>
- [6] DOE's. Department of Energy's. <https://www.energy.gov/articles/how-microgrids-work> (Acesso em 05/08/2021).
- [7] C. Bordons, F. Garcia-Torres, and M. A. Ridaou, *Model Predictive Control of Microgrids*. 2020.
- [8] IEEE Std 2030.7-2017™, *IEEE Standard for the Specification of Microgrid Controllers*. 2018.
- [9] A. Mohammed, S. S. Refaat, S. Bayhan, and H. Abu-Rub, "AC Microgrid Control and Management Strategies: Evaluation and Review," *IEEE Power Electron. Mag.*, vol. 6, no. 2, pp. 18–31, 2019.
- [10] A. Cagnano, E. De Tuglie, and P. Mancarella, "Microgrids: Overview and guidelines for practical implementations and operation," *Appl. Energy*, vol. 258, no. May 2019, 2020.

[11] S. Mehdi Hakimi, A. Hajizadeh, M. Shafie-khah, and J. P. S. Catalão, "Demand Response and Flexible Management to Improve Microgrids Energy Efficiency with a High Share of Renewable Resources," *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 42, no. September, p. 100848, Dec. 2020.

[12] Escritório de projetos especiais - Campus sustentável. Disponível em <<https://www.campus-sustentavel.unicamp.br>>

[13] D. A. Ferreira, *Interdisciplinaridade e Políticas Públicas: experiência do Programa Goiás Solar*. São Paulo: PUC, 2018.

---

Rodolfo Quadros possui graduação em Engenharia Elétrica, especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho e é mestre em Engenharia de Edificações Ambiental. É engenheiro eletricitista na Universidade Federal de Mato Grosso. Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Estadual de Campinas, é pesquisador no projeto de microrredes MERGE.

Luiz Carlos Pereira da Silva possui graduação, mestrado e doutorado em Engenharia Elétrica. É professor da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Estadual de Campinas, Coordenador do projeto Campus Sustentável, Coordenador do projeto de microrredes MERGE, Coordenador de projetos de eficiência energética na Unicamp, Coordenador do Escritório de Projetos Especiais – CGU e Coordenador da Câmara Técnica de Gestão de Energia – GGUS

Juan Camilo López Amézquita recebeu o duplo diplomas em engenharia eletrônica e engenharia elétrica da Universidad Nacional de Colombia (UNAL), e, respectivamente, o mestrado em engenharia elétrica pelo estado de São Paulo Universidade (UNESP), e o doutorado em engenharia elétrica da Universidade Estadual de Campinas, onde atualmente trabalha como um Pós-doutorado na Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação.

Danúsia Arantes Ferreira possui graduação em pedagogia, mestrado em Educação e Políticas Públicas, doutorado em Educação e Interdisciplinaridade. Atualmente é pós-doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Estadual de Campinas no projeto de microrredes MERGE e Coordenadora do Programa Interdisciplinar de Extensão Comunitária Olhos no Futuro vinculado ao projeto Campus Sustentável Unicamp

João Inácio Yutaka Ota possui doutorado em Engenharia Elétrica pelo Instituto de Tecnologia de Tóquio - Tokyo Institute of Technology (2016), mestrado (2011) e graduação (2008) em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp). Atualmente é Pesquisador de Pós-Doutorado na Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação na Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e participante do Projeto MERGE e do Projeto Temático FAPESP "Pesquisas Interdisciplinares em Redes Elétricas Inteligentes".

João Guilherme Ito Cypriano possui mestrado (2019) e graduação (2012) em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas. Atualmente é doutorando na mesma instituição e atua como pesquisador e gerente de projetos no Escritório de Projetos Especiais - Campus Sustentável da Unicamp.