



# Sistema de Medição Centralizada BTZero com Rede Wi-SUN na Última Milha

**Tema:** Sistemas de Medição

**Autores:** Willian Garcia Viegas dos Santos

**Co-Autores:** Fabio Souza Da Silva, Juliana Vitória de Queiroz, Gabriel Rodrigues Barbosa, Rodrigo Salustiano de Oliveira, Caio Cesar Batista Brito, Lucas de Crignis Provete, Bruno Gonçalves de Souza

**Empresa:** EDP Espírito Santo Distribuição de Energia S.A.

## Resumo

A modernização das redes elétricas exige soluções tecnológicas eficientes e escaláveis para garantir confiabilidade na medição, redução de perdas e otimização operacional. Neste contexto, este artigo apresenta a implementação piloto do Sistema de Medição Centralizada (SMC) Pantheon com tecnologia Wi-SUN FAN, validando sua viabilidade para redes de distribuição inteligentes. O piloto foi realizado nas unidades da EDP ES e EDP SP, abrangendo mais de 800 clientes distribuídos em Concentradores Secundários e Border Routers, possibilitando a avaliação da qualidade da comunicação, resiliência da rede e integração com os processos comerciais.

Os resultados demonstraram ganhos operacionais significativos, incluindo aumento na efetividade das leituras remotas, melhoria na confiabilidade da comunicação e redução de custos operacionais. Além disso, os testes de reconfiguração dinâmica comprovaram a capacidade da rede de manter sua operação mesmo em cenários de falha, garantindo maior resiliência e segurança.

Diante dos resultados positivos, a EDP planeja expandir a instalação do SMC Pantheon, ao mesmo tempo em que viabiliza novos pilotos com as soluções MagnoGrid da Landis+Gyr e Nansen, permitindo um benchmarking completo entre diferentes tecnologias. A necessidade de adequação do parque de medidores, conforme exigido pela Portaria Inmetro nº 221/2022, representa uma oportunidade estratégica para adotar uma infraestrutura de comunicação mais robusta e escalável. Dessa forma, além de garantir conformidade com as exigências metrológicas, a concessionária se antecipa às tendências de digitalização da rede, implementando um modelo mais eficiente, resiliente e preparado para futuras evoluções tecnológicas.

Por fim, o artigo destaca a necessidade de evoluir a interoperabilidade do Wi-SUN FAN na camada de aplicação, visando uma rede realmente unificada entre diferentes fornecedores. Além disso, a infraestrutura Wi-SUN também abre caminho para aplicações em automação da distribuição (DA), possibilitando a integração de dispositivos de automação da rede elétrica, ampliando sua aplicação para além da medição inteligente.

## 1. Introdução

A crescente necessidade de modernização das redes elétricas tem impulsionado a adoção de soluções tecnológicas que aumentem a eficiência, a confiabilidade e a inteligência das operações. Um dos principais

desafios enfrentados pelas concessionárias de energia está na medição e comunicação na última milha, onde a diversidade de ambientes e condições de infraestrutura torna complexo o monitoramento e o controle eficiente dos sistemas.

Nesse contexto, o Sistema de Medição Centralizada (SMC) surge como uma resposta à necessidade de reduzir perdas, otimizar a gestão de medidores e viabilizar o monitoramento em tempo real. Dentre as soluções disponíveis, o BTZero destaca-se por sua robustez e eficiência na gestão centralizada de medições, enquanto a tecnologia Wi-SUN se apresenta como uma rede de comunicação escalável, interoperável e altamente confiável, especialmente adequada para superar os desafios da última milha.

O objetivo deste artigo é demonstrar como a combinação do BTZero com Wi-SUN resolve desafios específicos da última milha, destacando sua contribuição para a modernização das redes elétricas. Para isso, serão apresentadas as características de cada tecnologia, os benefícios da integração entre elas e os resultados de um piloto realizado pela EDP em localidades do Espírito Santo e de São Paulo. Por fim, serão discutidos os impactos da aplicação dessas soluções no avanço das redes inteligentes e nas operações das concessionárias.

Além disso, o estudo busca demonstrar como essa modernização pode atender às novas exigências da Portaria Inmetro nº 221/2022, que estabelece requisitos técnicos para medidores eletrônicos e sistemas de medição. Embora a regulamentação não exija um padrão específico de comunicação, a necessidade de adequação do parque de medidores representa uma oportunidade estratégica para a adoção de uma infraestrutura mais robusta e escalável, antecipando as tendências de digitalização da rede elétrica.

Este artigo está estruturado em quatro seções principais. Na Seção 2.1, apresentamos o Sistema de Medição Centralizada (BTZero), explorando seu conceito, arquitetura e funcionalidades, destacando seu papel na modernização da medição de energia elétrica. Em seguida, na Seção 2.2, discutimos a tecnologia Wi-SUN FAN, abordando suas principais características, como interoperabilidade, escalabilidade e resiliência, e seu potencial para melhorar a comunicação na última milha das redes inteligentes. Na Seção 2.3, analisamos a integração do BTZero com a Wi-SUN FAN, demonstrando como a sinergia entre essas tecnologias possibilita uma infraestrutura mais eficiente e confiável, além de superar desafios operacionais encontrados em arquiteturas anteriores.

Por fim, na Seção 2.4, apresentamos o estudo de caso do piloto realizado pela EDP ES e EDP SP com o SMC Wi-SUN Pantheon, detalhando o planejamento, a implementação e os desafios enfrentados, bem como os principais resultados observados e os impactos operacionais. A conclusão do artigo sintetiza os aprendizados do projeto, destaca as perspectivas para expansão da solução e discute os próximos passos, incluindo a realização de novos pilotos com outras tecnologias de SMC, como o MagnoGrid, e a exploração do uso da rede Wi-SUN para aplicações futuras, como a automação da distribuição (DA) e medições de balanço.

## **2. Desenvolvimento**

### **2.1. Sistema de Medição Centralizada (BTZero)**

A modernização das redes elétricas é necessária para atender às demandas atuais de eficiência, confiabilidade no fornecimento de energia e redução de perdas. Um desafio significativo enfrentado pelas concessionárias é o combate às perdas não técnicas, especialmente em áreas de complexidade, onde o furto de energia é prevalente. Para mitigar esse problema, uma das alternativas adotadas pela EDP entre os projetos de combate às perdas é o projeto Sistema de Medição Centralizada (SMC) BTZero (BAPTISTA; SOUZA, 2016).

O SMC BTZero é uma alternativa viável de combate às perdas não técnicas e redução de inadimplência em áreas de complexidade social desenvolvida e adaptada para atender as necessidades das distribuidoras de energia. O modelo de rede BT (baixa tensão) Zero tem como premissa eliminar a baixa tensão das áreas implantadas, mantendo o custo operacional dos serviços técnico comerciais já praticados. A implementação do BTZero tem demonstrado eficácia na redução das perdas não técnicas, contribuindo para a sustentabilidade econômica e operacional das concessionárias e promovendo o uso consciente da energia elétrica nas comunidades atendidas (BAPTISTA; SOUZA, 2016).

Na topologia de rede BTZero, a saída em baixa tensão do transformador é blindada através de cabo armado ou sealtube e conectada a Caixas Concentradoras Secundárias (CS), onde os medidores, em formato de módulos, ficam isolados. Dessa forma, toda a baixa tensão já é medida. Para que o cliente acompanhe o seu consumo, é instalado um display no padrão, conectado ao Concentrador Secundário por radiofrequência. As CSs comunicam-se entre si por meio de uma rede mesh proprietária dos fornecedores, na faixa livre de 900 MHz, até o Concentrador Primário (CP), que possui uma interface com a rede mesh e a rede da operadora de celular. Na figura 1 é possível observar a diferença entre uma topologia de rede convencional e uma rede SMC BTZero.

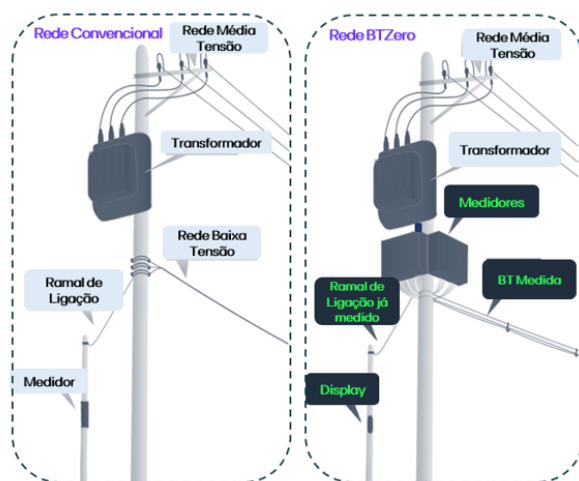


Figura 1 - Comparação Rede Convencional com Rede SMC BTZeroFonte: Elaborado pelo autor (2024). A primeira implementação do SMC BTZero pela EDP ocorreu em 2012 no estado do Espírito Santo, após resultados de sucesso decidiu-se expandir o projeto para a EDP SP, onde também obteve-se sucesso e ano após ano, ambas as distribuidoras foram expandindo o seu parque. Até o final de 2024, a EDP contava com mais de 500 mil pontos de SMC instalados.

As principais características do BTZero são: rede compacta, equipamentos de medição dentro de caixas blindadas, utilização de cabos concêntricos já medidos na BT, Rede de BT inexistente sem medição, transformadores menores e mais MT, display na caixa de medição e serviços realizados remotamente, na Figura 2 vemos uma rede SMC real implementada.



Figura 2 - Rede SMC BTZero implementadaFonte: Baptista e Souza (2016).

Com a experiência adquirida pela EDP na expansão deste projeto, estima-se que a energia protegida equivale ao resultado de aproximadamente 212 mil inspeções de irregularidades. Além disso, caso o projeto SMC não tivesse sido implementado, a trajetória de perdas nas distribuidoras da EDP seria superior em mais de 1 ponto percentual em relação aos níveis atuais. Devido aos resultados expressivos e ao sucesso do projeto, a EDP pretende continuar expandindo o parque de SMC, projetando que, até 2030, cerca de 20% dos clientes estejam conectados a essa topologia de rede.

## 2.2. Tecnologia Wi-SUN

A evolução das redes elétricas inteligentes exige soluções de comunicação robustas, escaláveis e eficientes para garantir a conectividade confiável dos dispositivos e a transmissão segura dos dados. A tecnologia Wi-SUN surge como um dos principais padrões de comunicação sem fio para infraestruturas como medição inteligente (AMI), automação de redes elétricas e aplicações em cidades inteligentes.

A tecnologia Wi-SUN, baseada no padrão IEEE 802.15.4g, foi desenvolvida para fornecer uma comunicação de longo alcance e baixa potência (LPWAN), garantindo interoperabilidade entre diferentes fabricantes e permitindo a criação de redes sem fio confiáveis. Sua arquitetura permite a formação de redes mesh, onde cada dispositivo atua como um nó capaz de retransmitir dados, melhorando a cobertura e a resiliência do sistema (SARAIVA et al., 2020)

Diferentemente de outras tecnologias de comunicação para redes inteligentes, a Wi-SUN FAN (Field Area Network) possui um alto grau de confiabilidade, pois utiliza multi-hop routing, comunicação bidirecional entre dispositivos, garantindo uma infraestrutura altamente resiliente, onde cada dispositivo atua como um nó capaz de retransmitir dados para outros, garantindo que os dados sempre encontrem um caminho alternativo para alcançar o destino (HIRAKAWA et al., 2023) . Essa característica é essencial para aplicações críticas, como monitoramento de redes elétricas e integração com sistemas de medição inteligente, pois melhora a cobertura e a confiabilidade, mesmo em ambientes com obstáculos físicos ou áreas de difícil acesso (TANGSUNANTHAM; PIRAK, 2022).

O Wi-SUN é desenvolvida e promovida pela Wi-SUN Alliance, uma organização global composta por empresas e entidades do setor de tecnologia e serviços públicos. Seu principal objetivo é garantir a interoperabilidade entre dispositivos de diferentes fabricantes, permitindo que soluções baseadas nesse padrão sejam compatíveis em diversas aplicações, como redes inteligentes, infraestrutura crítica e IoT. Além disso, a Wi-SUN Alliance trabalha na padronização e certificação da tecnologia, assegurando comunicação confiável, segura e escalável para sistemas que demandam conectividade robusta e eficiente, na Figura 3 é possível ver uma ilustração de uma rede Wi-SUN para medidores inteligentes (WI-SUN ALLIANCE, 2024a).

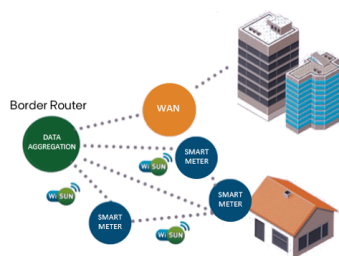


Figura 3 - Rede Wi-SUN para medidores inteligentes Fonte: WI-SUN ALLIANCE, 2024b.

A tecnologia Wi-SUN se destaca por sua capacidade de fornecer conectividade confiável e escalável para um grande número de dispositivos conectados. Entre suas principais características estão:

#### 1. Robustez e confiabilidade:

- A arquitetura mesh permite que dispositivos se comuniquem entre si, garantindo redundância na transmissão de dados. Se um nó falha, os dados encontram outro caminho automaticamente (MOCHINSKI et al., 2022) .
- Alta resistência a interferências e multipercurso, tornando-a ideal para ambientes urbanos complexos (SARAIVA et al., 2020) .
- Interoperabilidade:
  - A Wi-SUN Alliance promove a compatibilidade entre dispositivos de diferentes fabricantes, garantindo que soluções de comunicação possam ser adotadas de maneira padronizada e escalável (HIRAKAWA et al., 2023) .
  - Assim como a Wi-Fi Alliance promove a interoperabilidade entre diversos dispositivos e produtos, tendo como referência o padrão IEEE 802.11, o Wi-SUN Alliance é o órgão que promove a interoperabilidade, utilizando o IEEE 802.15.4g como referência.
- Escalabilidade e eficiência energética:
  - O Wi-SUN opera em frequências sub-1 GHz, o que favorece comunicação de longo alcance com baixo consumo de energia. Testes realizados em ambientes urbanos e rurais indicam que dispositivos Wi-SUN podem operar de forma autônoma por anos, tornando essa tecnologia altamente viável para aplicações de medição inteligente (AMI) e IoT industrial (MOCHINSKI et al., 2022) .
- Segurança
  - O Wi-SUN FAN 1.0 suporta múltiplas camadas de segurança, incluindo IEEE 802.1X, IEEE 802.11i e EAP-TLS, garantindo autenticação robusta para dispositivos na rede. A autenticação via Extensible Authentication Protocol (EAP-TLS) impede acessos não autorizados, enquanto a implementação do IEEE 802.11i protege a troca de chaves criptográficas. Esses mecanismos garantem que apenas dispositivos confiáveis possam ingressar na rede, reduzindo o risco de ataques cibernéticos, como spoofing e sequestro de sessão (HIRAKAWA et al., 2023).

O uso da tecnologia Wi-SUN tem sido amplamente estudado para aplicações em redes elétricas inteligentes. Estudos apontam que a adoção da Wi-SUN pode melhorar significativamente a eficiência e confiabilidade da comunicação na infraestrutura de medição inteligente (AMI) (TANGSUNANTHAM; PIRAK,



2022) . Além disso, seu desempenho foi testado em diferentes topologias, demonstrando alto sucesso na taxa de transmissão de dados, mesmo em redes de grande escala (HIRAKAWA et al., 2023) .

A adoção da Wi-SUN nas redes elétricas permite que concessionárias otimizem processos de através da infraestrutura avançada de medição, além de identificarem falhas rapidamente e reduzam custos operacionais com serviços remotos (MOCHINSKI et al., 2022) . Com a crescente digitalização do setor elétrico, a Wi-SUN se consolida como um padrão essencial para o futuro das redes inteligentes e vem sendo amplamente adotada em distribuidoras no Brasil como a tecnologia padrão para uso na última milha em distribuidoras como COPEL, CELESC, CEMIG, CPFL, NEOENERGIA (CANAL ENERGIA, 2024).

### 2.3. Integração BTZero e Wi-SUN

Atualmente, as tecnologias de SMC BTZero utilizadas pela EDP operam por meio de uma rede mesh proprietária dos fornecedores. Essa arquitetura, no entanto, apresenta limitações significativas, pois não possui suporte a um módulo de gerenciamento de rede (NMS - Network Management System). A ausência do NMS impede a avaliação do desempenho da rede, da qualidade do serviço (QoS) e da análise detalhada do tráfego de dados, dificultando o monitoramento da topologia de rede e a identificação de gargalos de comunicação.

A Figura 5 ilustra um exemplo da rede mesh proprietária utilizada atualmente nos sistemas legados do SMC BTZero, onde as Caixas Concentradoras Secundárias (CSs) trafegam dados dos medidores e comandos de forma bidirecional entre os medidores e o Concentrador Primário (CP). Cada CP é interpretado pelo sistema como uma NET, o que significa que as CSs conectadas a uma NET não podem migrar para outra em caso de falha do CP, impactando diretamente a resiliência e continuidade da comunicação em situações de indisponibilidade do concentrador.

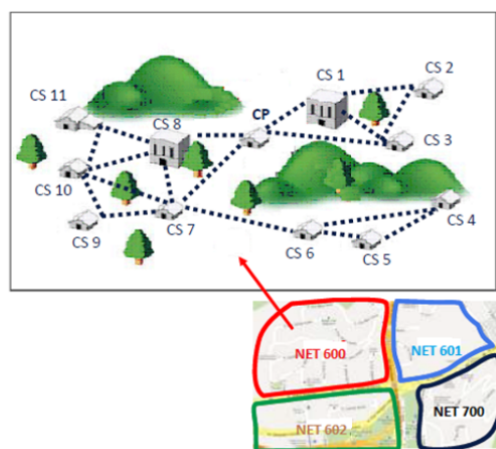


Figura 5 - Rede Mesh Privada SMC BTZeroFonte: Adaptado de SILVA et al., 2005.

A proposta de utilizar a tecnologia Wi-SUN para os novos pontos de BTZero visa eliminar essas limitações. Com a adoção do Wi-SUN FAN, a rede passa a contar com um NMS integrado, possibilitando monitoramento remoto em tempo real, otimização da qualidade do sinal, análise de tráfego de dados e reconfiguração dinâmica da topologia. Essa mudança permite um gerenciamento mais eficiente, seguro e escalável, garantindo maior confiabilidade operacional para as redes de medição da EDP, que podem ser acompanhadas e monitoradas pelo NOC (Centro de Operações de Rede). A Figura 6 apresenta um exemplo de uma das telas do NMS da solução da Hexing, para o SMC Pantheon, onde é possível visualizar a topologia da rede em tempo real, facilitando a gestão e manutenção dos dispositivos conectados.

Uma das vantagens significativas da Wi-SUN FAN é sua capacidade de autorrecuperação em caso de falha de um concentrador primário (na rede Wi-SUN, chamado de Border Router (BR)). Nas redes proprietárias

anteriores, caso um CP sofresse uma falha, toda a sua área de cobertura seria afetada, resultando na perda de comunicação dos medidores conectados a ele. Com a arquitetura mesh do Wi-SUN, a rede consegue se reconfigurar automaticamente, redistribuindo os dispositivos conectados para outro BR ativo, garantindo a continuidade operacional. Esse mecanismo de redundância e reconfiguração dinâmica assegura uma rede mais resiliente e confiável, reduzindo o impacto de falhas individuais e minimizando a necessidade de intervenções manuais para restauração do sistema.



Figura 6 - Topologia da Rede no NMSFonte: Elaborado pelo autor (2025).

Diante desses aspectos, a adoção da Wi-SUN FAN no BTZero não apenas resolve limitações técnicas das redes anteriores, mas também se torna essencial para garantir a adequação do Sistema de Medição Centralizada (SMC) à nova regulamentação metrológica. Com a publicação da Portaria Inmetro nº 221/2022, a infraestrutura de medição precisará ser atualizada para atender aos novos requisitos técnicos e metrológicos definidos para os sistemas de medição de energia elétrica. A solução utilizada atualmente não poderá mais ser instalada, o que exige uma transição para equipamentos certificados que estejam em conformidade com as novas exigências (BRASIL, 2022).

Diante dessa necessidade de renovação tecnológica, surge a oportunidade de modernizar o SMC não apenas para cumprir a regulação, mas também para aproveitar os benefícios da tecnologia Wi-SUN FAN. A adoção dessa nova infraestrutura permitirá a implementação de uma rede de comunicação mais robusta, interoperável e gerenciável, garantindo maior confiabilidade, escalabilidade e eficiência operacional. A migração para o Wi-SUN FAN permitirá que a EDP conte com monitoramento avançado via Network Management System (NMS), reconfiguração dinâmica da rede e uma comunicação mais resiliente, superando as limitações das soluções legadas.

Como parte da estratégia de adequação e modernização, a EDP planeja testar soluções de SMC desenvolvidas por diferentes fornecedores, incluindo Hexing, Landis+Gyr, Nansen e Wasion, para avaliar sua conformidade com a nova regulamentação e seu desempenho em campo. No próximo capítulo, serão apresentados os testes realizados com a solução Pantheon, da Hexing, destacando os ensaios conduzidos em laboratório e instalações em campo na EDP ES e EDP SP.

## 2.4. Estudo de Caso: Piloto na EDP ES e EDP SP com SMC Wi-SUN Pantheon

A metodologia do piloto foi estruturada em fases, contemplando a avaliação laboratorial, implantação, monitoramento e análise dos resultados. Para isso, foram utilizadas ferramentas e um caderno de testes para homologação, permitindo o acompanhamento detalhado do desempenho da rede, verificação da comunicação, avaliação dos aspectos construtivos dos equipamentos e estabilidade operacional dos dispositivos. O processo envolveu diversas áreas do negócio e stakeholders responsáveis pela construção do Sistema de Medição Centralizada, incluindo as equipes de Projeto, Construção, Combate às Perdas, Medição, Engenharia e Redes Inteligentes.

Antes da implementação em campo, foram conduzidos testes laboratoriais para avaliar o desempenho, integrações e características construtivas da solução BTZero Pantheon, que utiliza a rede Wi-SUN para comunicação. O objetivo foi validar a confiabilidade da comunicação, a resistência dos equipamentos a condições ambientais adversas e a funcionalidade das soluções envolvidas, garantindo aderência aos requisitos técnicos e operacionais. A Figura 7 apresenta um concentrador secundário aberto, displays (TLIs) e Border Router (Access Point) da solução Pantheon da Hexing, testados no Laboratório de Engenharia da EDP SP, em São José dos Campos.



Figura 7 - SMC Pantheon da Hexing em testes no laboratórioFonte: Elaborada pelo autor (2025)

A homologação seguiu um caderno de testes, cobrindo diferentes aspectos técnicos e operacionais:

- SMC Pantheon (*Equipamentos e Sistemas*)
  - Testes mecânicos e elétricos (conexões e cabeamentos); testes de resistência com Salt Spray; testes no Hemera (*Leituras, comandos e alarmes*); testes no Orca (*Leituras, comandos e alarmes*); integração com Hemera e validação do fluxo de dados; integração com displays remotos; cadastro do TLI em campo; testes de TLIs, garantindo alcance superior a 200 metros com barreiras; Cadastro de módulos e configuração de rede; Metrologia; Página fiscal e calibração metrológica
- Rede Wi-SUN (*Infraestrutura de Comunicação*)
  - Coletor (AP): Testes de redundância e capacidade de coleta de medidores; teste de alcance da rede mesh entre dispositivos Wi-SUN (endpoints); avaliação do tempo de resposta das solicitações via ORCA; restabelecimento da rede e reconexão automática em caso de falhas.



### Mobile (*Interface de Campo e Operacionalização via app*)

- Avaliação do App Mobile para cadastro e gerenciamento dos dispositivos; teste de endereçamento dos dispositivos via patrimônio e Wi-Fi; cadastro dos TLI's e monitoramento remoto; Testes de corte e religação; leitura de dados e alarmes; sensor de porta e perfis de usuários.

Após a conclusão dos testes laboratoriais, a fase seguinte consistiu na validação da instalação em campo. Para isso, foi realizado um alinhamento com a área de Combate às Perdas para definir as localidades onde o Sistema de Medição Centralizada seria implantado. Como resultado, foram estabelecidos dois pilotos: um de até 500 pontos em São Paulo (SP) e outro de até 500 pontos no Espírito Santo (ES). Após a seleção das áreas e dos clientes participantes, as informações foram enviadas para a Hexing, que realizou o RF Planning da região, garantindo que a cobertura e a conectividade da rede Wi-SUN fossem adequadas para a operação dos medidores. Posteriormente, a Hexing acompanhou e ofereceu suporte durante todo o processo de instalação em campo, assegurando a correta configuração e integração dos equipamentos à rede. Durante essa etapa, foram coletados feedbacks das equipes de Projeto, Construção e Medição, identificando possíveis pontos de melhoria e ajustes operacionais para otimizar a instalação da nova tecnologia e aprimorar sua implementação em larga escala.

Para a EDP ES, foi escolhida uma região com 424 clientes, cuja localização será mantida em sigilo. Dentre esses clientes, 65% encontravam-se em situação de clandestinidade, representando um desafio significativo para a gestão da rede e o controle de perdas. Para atender essa demanda, os clientes foram distribuídos em 56 Concentradores Secundários e 2 Border Routers (BRs), garantindo uma infraestrutura robusta e confiável para a comunicação dos medidores com o sistema central.

Da mesma forma, para a EDP SP, foi selecionada uma região com 412 clientes, também mantida em sigilo, onde 36% dos consumidores estavam em situação de clandestinidade. Os clientes dessa região foram distribuídos em 75 Concentradores Secundários e 2 Access Points (APs), permitindo a criação de uma rede mesh escalável e resiliente.

Em ambas as distribuidoras, os equipamentos excedentes foram mantidos como reserva técnica, considerando que a POC foi disponibilizada para 500 clientes em cada localidade. Esses dispositivos adicionais foram destinados para novas ligações dentro da área piloto ou para substituições, caso necessário, garantindo flexibilidade operacional e continuidade do projeto.

Os ganhos esperados com a implantação do SMC Wi-SUN no ES incluem um ganho energético total de 643 MWh/ano e um ganho financeiro total estimado em R\$ 433 mil por ano. Na EDP SP espera-se um ganho energético total de 290 MWh/ano e um ganho financeiro total estimado em R\$ 163 mil por ano. Além disso, para ambas as distribuidoras espera-se um aumento significativo na efetividade das leituras e das operações de corte e religação, além da redução dos custos operacionais relacionados a manutenção e gestão de serviços comerciais. A nova infraestrutura também trará uma rede mais confiável, com maior estabilidade e capacidade de monitoramento em tempo real, reduzindo falhas e melhorando a qualidade do fornecimento de energia.

Na Figura 8, é apresentada uma foto da instalação de um dos Border Routers da rede Wi-SUN, que atua como um gateway de interface com a rede da operadora. Para garantir a redundância e a resiliência da comunicação, foram instalados dois Border Routers em cada região da POC, permitindo testes de desligamento controlado de um deles para avaliar a capacidade de reconfiguração automática da rede, garantindo a continuidade da operação por meio do Access Point (AP) remanescente.

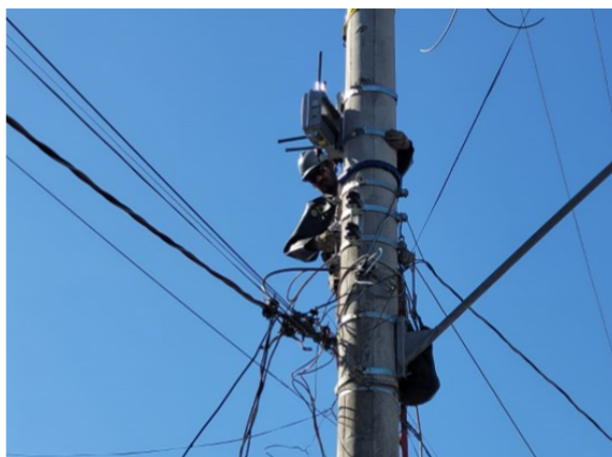


Figura 8 - Instalação do AP Wi-SUNFonte: Elaborado pelo autor (2025).

Na Figura 9, são apresentadas imagens da instalação dos Concentradores Secundários Pantheon nas unidades da EDP SP e EDP ES. As instalações foram acompanhadas em campo pelas equipes de Projetos e Construção, Medição, Engenharia e pelos técnicos da Hexing, assegurando a correta implementação e integração dos dispositivos à rede. Após a conclusão das instalações, foram coletados feedbacks sobre o processo de instalação, abordando aspectos como qualidade e robustez dos equipamentos, facilidade no comissionamento e possíveis pontos de melhoria, visando otimizar futuras expansões do sistema.



Figura 9 - Instalação dos Concentradores Secundários e do SMC Pantheon Wi-SUNFonte: Elaborado pelo autor (2025).

A sustentação e o acompanhamento da rede ficaram sob responsabilidade da área de Medição da EDP ES e EDP SP, que atua na gestão operacional, manutenção e na otimização do desempenho da infraestrutura implantada. Embora a nova solução possua funcionalidades de corte e religação, a equipe de Medição está ajustando os scripts automatizados que operam no SMC legado, garantindo sua adaptação e compatibilidade com o novo SMC. Além disso, a equipe de Medição monitora continuamente a qualidade da rede, a efetividade da comunicação e possíveis pontos de melhoria, assegurando o pleno funcionamento do sistema. Quaisquer necessidades de ajustes ou aprimoramentos são reportadas diretamente à Hexing, bem como às áreas de Redes Inteligentes e Engenharia, para que as melhorias identificadas possam ser implementadas de forma eficiente e alinhadas às necessidades operacionais.

Os resultados obtidos até o momento demonstram avanços significativos na confiabilidade e no desempenho da solução. A rede de comunicação tradicional apresentou uma efetividade de 92%, enquanto a rede

Pantheon com Wi-SUN FAN alcançou 100% de efetividade, evidenciando a robustez e a resiliência da nova infraestrutura. Esses números reforçam a viabilidade da solução e seu potencial para expansão na rede da EDP, garantindo uma operação mais eficiente, segura e confiável.

Diante do sucesso do piloto, a EDP planeja agora expandir a instalação do SMC Pantheon, ampliando gradativamente a cobertura e o uso da tecnologia Wi-SUN em sua rede. Além disso, a EDP pretende testar e homologar outras soluções de Sistema de Medição Centralizada (SMC), que utilizam Wi-SUN, de outros fabricantes. O primeiro passo dessa expansão será a realização de um novo piloto utilizando a tecnologia MagnoGrid da Landis+Gyr, seguido da implementação de um piloto com a solução da Nansen. Esse processo visa comparar o desempenho das soluções e garantir que a tecnologia escolhida para a expansão em larga escala seja a mais adequada para os desafios operacionais e regulatórios da concessionária.

Para viabilizar essa expansão, a EDP pretende adotar uma arquitetura padronizada para o SMC e para os medidores inteligentes, conforme ilustrado na Figura 10. Cada fornecedor de SMC BTZero terá sua própria rede Wi-SUN FAN, garantindo uma infraestrutura escalável e resiliente. Embora o Wi-SUN forneça padronização até a camada de transporte, a camada de aplicação ainda não é unificada, o que significa que, na prática, a interoperabilidade entre fabricantes ainda não é plena, pois cada fornecedor adota sua própria implementação da camada de aplicação. O backhaul da comunicação será baseado na rede de telefonia móvel das operadoras, com APN Privada, permitindo a transmissão dos dados coletados pelos medidores e concentradores Wi-SUN para os Meter Data Collectors (MDC) de cada fornecedor. Os MDCs atuarão como HES (Head-End System) e NMS (Network Management System), sendo responsáveis por gerenciar a comunicação dos medidores com a central e garantindo a integração com os sistemas de gestão da concessionária.

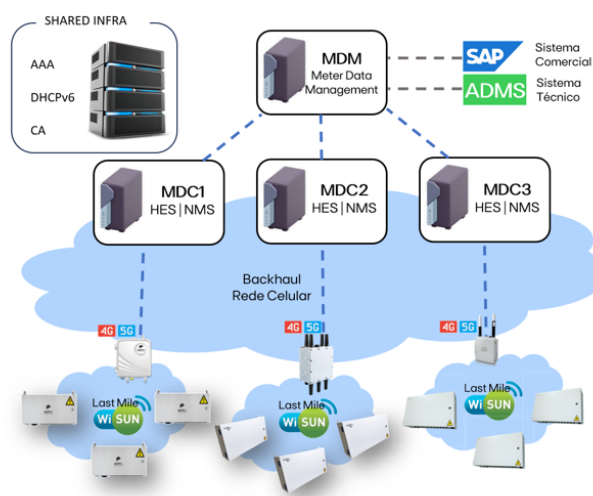


Figura 10 - Arquitetura Simplificada da SoluçãoFonte: Elaborado pelo autor (2024)

A arquitetura também prevê a integração dos MDCs com o Meter Data Management (MDM) Hemera, que será o ponto centralizado de armazenamento e gestão dos dados de medição. Esse sistema será responsável por consolidar, processar e disponibilizar as informações dos medidores, garantindo a gestão eficiente da medição e do faturamento. Além disso, a estratégia da EDP inclui a integração do MDM Hemera com os sistemas técnicos (ADMS) e os sistemas comerciais (SAP), permitindo que todas as informações, notas de serviço e alarmes gerados pelos medidores sejam automatizados e utilizados de forma integrada nos processos operacionais e comerciais.

### 3. Conclusão

Os testes laboratoriais e o piloto em campo demonstraram que a integração do BTZero com a tecnologia Wi-SUN FAN proporciona uma infraestrutura mais robusta, confiável e escalável para redes inteligentes. A implantação do SMC Pantheon com Wi-SUN comprovou sua viabilidade técnica e operacional, destacando-se pela eficiência na comunicação, confiabilidade na medição e potencial para redução de perdas com o SMC BTZero. Essa integração se mostrou uma abordagem sólida para a modernização do sistema de medição centralizada da EDP, garantindo um melhor gerenciamento da infraestrutura, maior segurança operacional e otimização dos processos de medição e faturamento. Além disso, os resultados confirmaram que essa solução pode aumentar a eficiência operacional e aprimorar a comunicação, consolidando-se como um modelo ideal para redes elétricas inteligentes e sistemas avançados de medição.

A implantação da solução da Hexing na EDP ES e EDP SP permitiu validar indicadores de desempenho essenciais, como efetividade da leitura remota e melhoria na confiabilidade da rede de comunicação e retorno em relação as perdas. Além disso, os testes de resiliência da rede mesh, incluindo falhas simuladas de Border Routers e reconfiguração dinâmica da rede, demonstraram que o sistema pode manter sua funcionalidade sem comprometer a comunicação dos medidores.

Diante do sucesso do piloto, a EDP planeja agora expandir a instalação do SMC Pantheon. Paralelamente, será iniciada a implantação de outras soluções de SMC, começando com um piloto utilizando a tecnologia MagnoGrid da Landis+Gyr, seguido da implementação de um piloto com a solução da Nansen. Esse processo permitirá um benchmarking completo entre diferentes fornecedores, garantindo que a tecnologia escolhida para a expansão em larga escala seja a mais adequada às necessidades operacionais e regulatórias da concessionária.

Com a adoção da Wi-SUN FAN no BTZero, a EDP reforça sua estratégia de modernização e digitalização da rede elétrica, alinhando-se às tendências de redes inteligentes e garantindo mais eficiência, confiabilidade e segurança na gestão da medição e no combate às perdas. Além disso, diante da necessidade de atender às novas exigências metrológicas da Portaria Inmetro nº 221/2022, a concessionária vê essa atualização como uma oportunidade para substituir o parque de medidores por soluções que, além da conformidade regulatória, também contemplem uma tecnologia de comunicação mais robusta e eficiente na última milha. Dessa forma, a adoção de novas tecnologias de SMC, como Pantheon ou MagnoGrid, não apenas garante a aderência aos requisitos regulatórios, mas também eleva o padrão tecnológico das redes de medição, proporcionando maior resiliência e escalabilidade para o futuro do setor elétrico.

#### Próximos Passos

Além dos pilotos já mencionados com o MagnoGrid da Landis+Gyr e a solução da Nansen, um dos próximos desafios é a evolução da interoperabilidade da rede Wi-SUN também na camada de aplicação. Atualmente, a padronização do Wi-SUN FAN se dá principalmente até a camada de transporte, mas a falta de um modelo unificado na camada de aplicação ainda impede que dispositivos de diferentes fornecedores operem de forma totalmente interoperável. Trabalhar essa padronização na camada de aplicação será essencial para viabilizar uma rede Wi-SUN única, permitindo que equipamentos de diferentes fabricantes operem de forma integrada, sem dependência de soluções proprietárias.

Além da aplicação em medição inteligente, a infraestrutura da Wi-SUN FAN também abre oportunidades para sua utilização em automação da distribuição (DA). A capacidade de operar em redes mesh dinâmicas e resilientes permite que dispositivos de automação da rede elétrica, como reclosers, reguladores de tensão e sensores de falha, sejam integrados diretamente à infraestrutura de comunicação Wi-SUN, ampliando a sinergia entre medição inteligente e automação da rede de distribuição e tornando o modelo de operação mais eficiente e alinhado às exigências das redes elétricas inteligentes do futuro (CHENG *et al.*, 2022). No entanto, para aplicações de missão crítica, ainda é necessário um estudo aprofundado para avaliar se a

resiliência da rede Wi-SUN FAN é suficiente para garantir os tempos de resposta e a confiabilidade exigidos nesses cenários.

## 4. Referências bibliográficas

BAPTISTA, Danilo Febroni; SOUZA, Bruno Gonçalves de. Sistema de medição centralizada BT ZERO: uma alternativa viável para o combate às perdas não técnicas em áreas de complexidade social. In: **SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (SENDI)**, 22., 2016, Curitiba. Anais [...]. Curitiba: SENDI, 2016.

SARAIVA, F. et al. Avaliação da Confiabilidade de uma Rede Wi-Sun com Topologia Linear para Aplicações de Cidades Inteligentes. **Anais de XXXVIII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações e Processamento de Sinais. Sociedade Brasileira de Telecomunicações**, p. 22-25.

HIRAKAWA, Rei; MIZUTANI, Keiichi; HARADA, Hiroshi. Specification and performance analysis of Wi-SUN FAN. **IEEE Open Journal of Vehicular Technology**, 2023.

TANGSUNANTHAM, Natthanan; PIRAK, Chaiyod. Experimental Performance Analysis of Wi-SUN Channel Modelling Applied to Smart Grid Applications. **Energies**, v. 15, n. 7, p. 2417, 2022.

**WI-SUN ALLIANCE**. About Wi-SUN. Disponível em: <https://wi-sun.org/about/>. Acesso em: 08 dez. 2024.

**WI-SUN ALLIANCE**. What we do. Disponível em: <https://wi-sun.org/what-we-do/>. Acesso em: 08 dez. 2024.

MOCHINSKI, Marcos Alberto et al. Towards an efficient method for large-scale Wi-SUN-enabled AMI network planning. **Sensors**, v. 22, n. 23, p. 9105, 2022.

**CANAL ENERGIA**. Medição inteligente avança com mais de 4 milhões de pontos no Brasil. Disponível em: <https://www.canalenergia.com.br/especiais/53252520/medicao-inteligente-avanca-com-mais-de-4-milhoes-de-pontos-no-brasil>. Acesso em: 12 dez. 2024.

SILVA, Mônica F. da; CÂMARA, Jeferson; ABELÉM, Antônio J. G.; STANTON, Michael A. Redes sem fio metropolitanas baseadas no padrão 802.16: um estudo de caso para Belém-PA. In: **CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO (SBC)**, 25., 2005, São Leopoldo. Anais [...]. São Leopoldo: SBC, 2005.

**BRASIL**. Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. **Portaria nº 221, de 23 de maio de 2022**. Aprova a regulamentação técnica metrológica consolidada para sistemas de medição ou medidores de energia elétrica ativa e/ou reativa, eletrônicos, monofásicos e polifásicos e sistemas de iluminação pública. **Diário Oficial da União: seção 1**, Brasília, DF, 24 maio 2022. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-221-de-23-de-maio-de-2022-403718188>. Acesso em: **12 dez. 2024**.