



Os benefícios e a importância da Infraestrutura de Medição Avançada no contexto da Geração Distribuída

Tema: Recursos Energéticos Distribuídos

Autores: Natalie Costa Araujo

Co-Autores: Flavio Henrique Martins Vieira; Darlan Junior Gonçalves

Empresa: Cemig Distribuição S/A

Resumo

Este artigo aprofunda a análise do AMI (*Advanced Metering Infrastructure*), destacando sua aplicação específica para a Geração Distribuída (GD). O AMI permite monitoramento dos padrões horários e sazonais, além de um controle rigoroso da potência contratada pelos clientes. Quando um cliente excede a potência máxima contratada, a concessionária pode aplicar penalidades contratuais. Se o cliente exceder repetidamente essa potência, a funcionalidade de desconexão remota do AMI pode ser utilizada. O AMI também facilita a identificação de problemas de qualidade de energia causados pela GD, permitindo direcionar correções específicas e melhorar a estabilidade da rede.

De um total de 370 mil clientes AMI implantados na concessionária, mais de 6 mil são de geração distribuída. A presença de GD pode trazer alguns impactos para o sistema da concessionária e os demais clientes, destacando a necessidade de um planejamento cuidadoso e de tecnologias avançadas para monitorar e mitigar esses efeitos.

A expansão do AMI para consumidores de GD, utilizando tecnologias NB-IoT e CAT-M1, garante uma cobertura ampla e robusta, adaptando-se às necessidades específicas de cada região. Este projeto destaca a importância e os benefícios dos dados da GD para uma rede elétrica mais inteligente e resiliente.

1. Introdução

Esse artigo explora como a CEMIG está utilizando os dados do AMI para trazer benefícios ao monitoramento e controle na geração distribuída. Na primeira parte, abordamos a importância de monitorar os padrões horários e sazonais da GD. Os dados coletados para os 6 mil clientes possibilitaram a CEMIG identificar os horários de predominância da injeção de energia ao longo do dia, além de permitir comparar os padrões da estação seca com o da estação chuvosa.

Na segunda parte apresentamos de que forma o AMI pode ser utilizado no controle da potência máxima contratada. O uso do AMI, baseada em monitoramento, medidas corretivas e penalidades contratuais, pode diminuir a necessidade de controle físico em muitos casos, reduzindo a dependência de equipamentos caros e melhorando a eficiência operacional. As medições AMI nos possibilitaram identificar e compreender a magnitude e frequência das ultrapassagens.

Também destacamos como os dados históricos do AMI facilitam a identificação de problemas de qualidade de energia causados pela GD. Foi possível diagnosticar com precisão quais clientes estão sendo mais afetados pelas oscilações de tensão e entender melhor as causas desses problemas. O AMI facilita a identificar essas oscilações e, conseqüentemente, contribui para direcionamento das medidas corretivas. Os benefícios e a importância dos medidores inteligentes AMI no contexto da Geração Distribuída são amplamente discutidos e reconhecidos ao longo deste artigo. A relevância estratégica de projetos voltados para a expansão do AMI entre clientes GD é claramente destacada. Por isso, a CEMIG está investindo na expansão de medidores NB-IoT e CAT-M para atender às particularidades da Geração Distribuída (GD), especialmente sua dispersão geográfica e presença em áreas rurais.

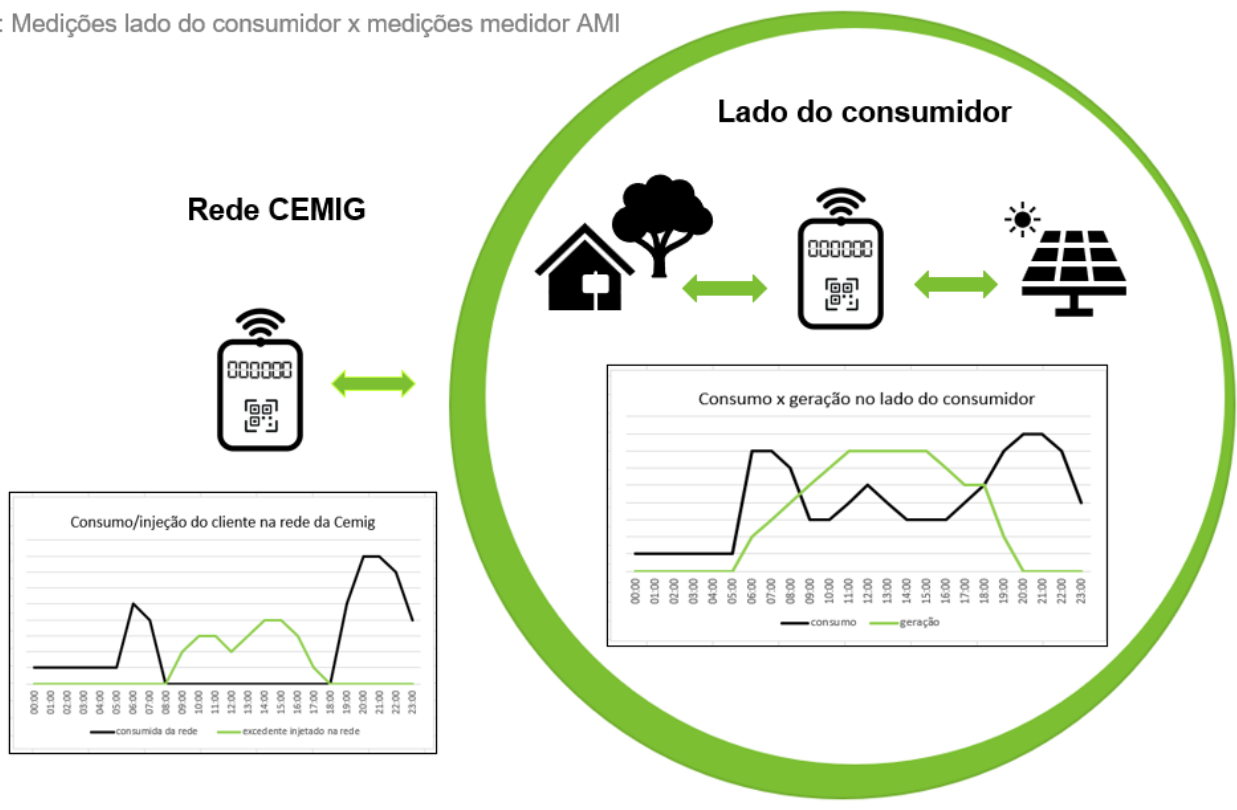
2. Desenvolvimento

A coleta de dados de clientes de geração distribuída

A CEMIG possui AMI implantado em mais de 370 mil clientes e uma expectativa de expansão de 1,25 milhão até o final de 2027. Os principais dados coletados são memória de massa, eventos e totalizadores diários. Do total de clientes AMI instalados, mais de 6 mil clientes são geração distribuída.

Através da leitura bidirecional de energia, os medidores inteligentes do AMI conseguem medir tanto o consumo de energia, quanto a injeção de energia excedente pelos clientes GD. O medidor AMI está localizado no ponto de conexão entre a rede elétrica da CEMIG e a instalação do consumidor. Dessa forma, o medidor AMI mede o consumo total de energia fornecida pela rede e a energia excedente gerada pelo cliente que é injetada de volta na rede. No entanto, ele não fornece detalhes específicos sobre como a energia é consumida ou gerada dentro da instalação do cliente. Para obter informações detalhadas sobre o consumo e a geração de energia em diferentes pontos dentro da instalação, seriam necessários medidores adicionais ou sistemas de monitoramento “*behind the meter*” (BTM), que poderiam rastrear o uso de energia em tempo real e fornecer dados mais granulares.

Figura 01: Medições lado do consumidor x medições medidor AMI



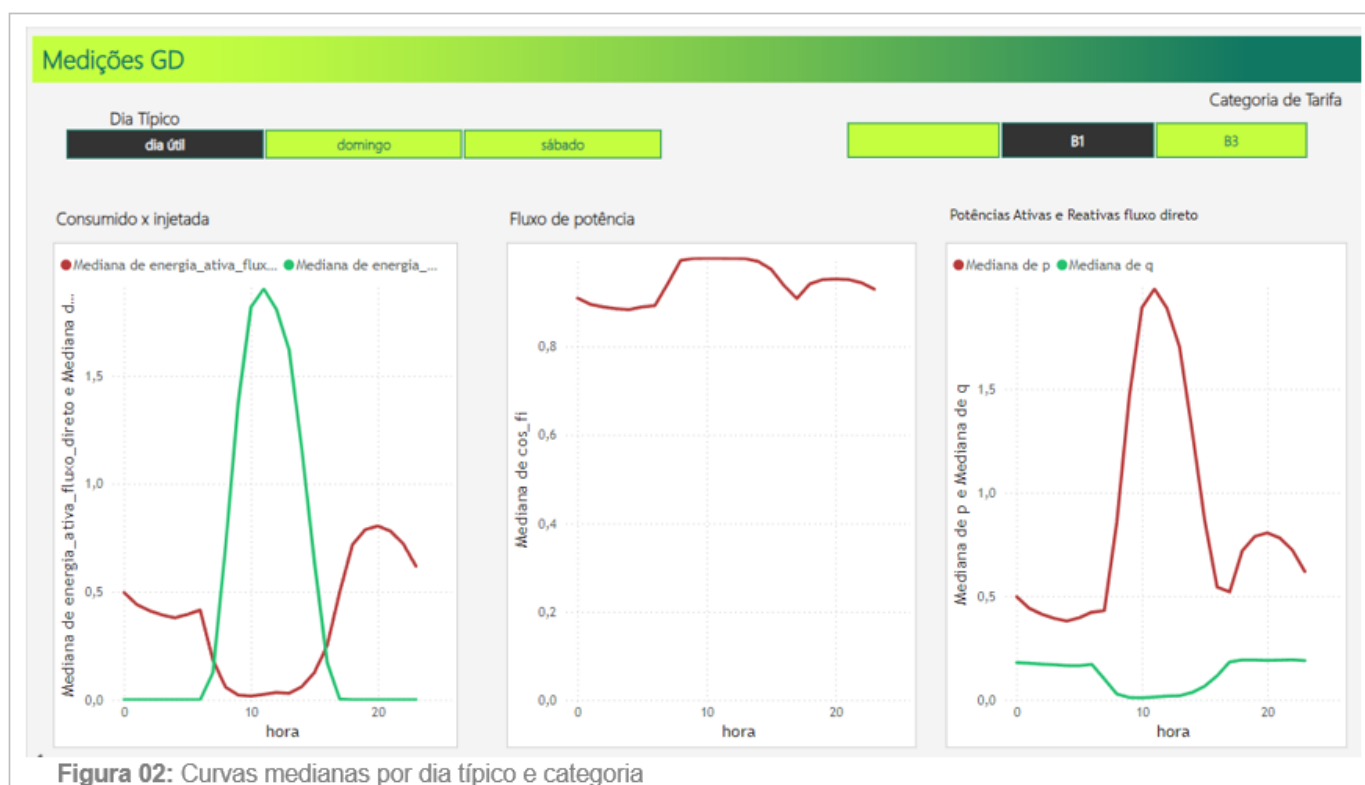
Ainda que no ponto de conexão estejam disponíveis somente os totais, os dados coletados pelo AMI oferecem uma visão detalhada e valiosa sobre o comportamento dos consumidores com GD, extremamente importantes para os clientes e concessionária.

Para os clientes que são geração distribuída, o AMI fornece informações detalhadas sobre a energia excedente injetada na rede elétrica da CEMIG. Essa energia excedente se transforma em créditos que podem ser usados para compensar o consumo de energia da rede em momentos em que a geração própria não é suficiente. Além disso, os créditos podem ser transferidos para outras unidades consumidoras que estejam sob mesma titularidade (mesmo CPF ou CNPJ). O acesso detalhado aos dados de energia injetada excedente pode ser extremamente útil para a gestão dos créditos de energia e para planejamento das compensações pelo cliente.

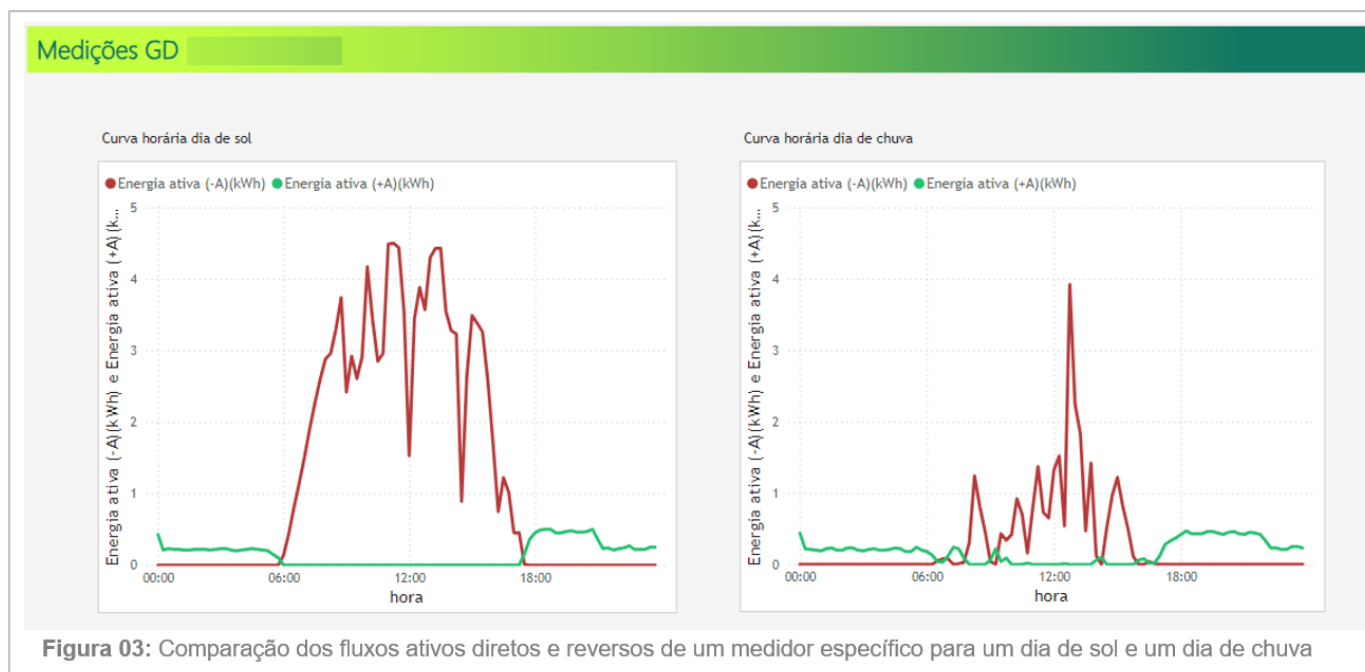
Para a concessionária, as informações coletadas são fundamentais para avaliar os impactos da geração distribuída sobre a rede elétrica. Permite entender como a energia gerada pelos clientes GD está sendo distribuída e utilizada na rede, ajuda a identificar possíveis sobrecargas ou desequilíbrios.

Mapeamento do Perfil de Carga e Geração: padrões diários e sazonais

Os clientes AMI estão predominantemente distribuídos nas categorias de tarifa B1 e B3. As análises foram segmentadas em dia útil, sábado e domingo. Conforme esperado, nos sistemas fotovoltaicos, os picos de geração geralmente ocorrem durante o meio do dia, entre 10h e 14h, quando a intensidade solar é mais alta. Esse período coincide com a maior produção de energia solar, resultando em maior injeção de energia na rede. Os picos de injeção de energia podem causar desafios para a rede elétrica, como variações de tensão e sobrecargas. O mapeamento horário e detalhado ajuda a identificar esses picos e a implementar soluções para mitigar seus impactos, como o uso de sistemas de armazenamento de energia e redes inteligentes.



A variação sazonal também afeta a produção de energia ao longo do ano. A CEMIG se destaca na geração de energia solar no Brasil. O clima predominante em Minas Gerais é o clima tropical com inverno seco. Para sistemas fotovoltaicos, a geração pode ser mais irregular no verão, devido às chuvas, enquanto no inverno, a produção tende a ser mais estável e previsível.



No geral, entender a sazonalidade e as linhas de tendência é crucial para quem deseja tomar decisões informadas com base em dados. Os dados do AMI podem ser utilizados para planejamento de upgrades e expansões da infraestrutura elétrica. Com informações detalhadas sobre os padrões sazonais, seus re-

spectivos picos de consumo e geração, é possível dimensionar melhor os investimentos necessários para suportar a demanda futura.

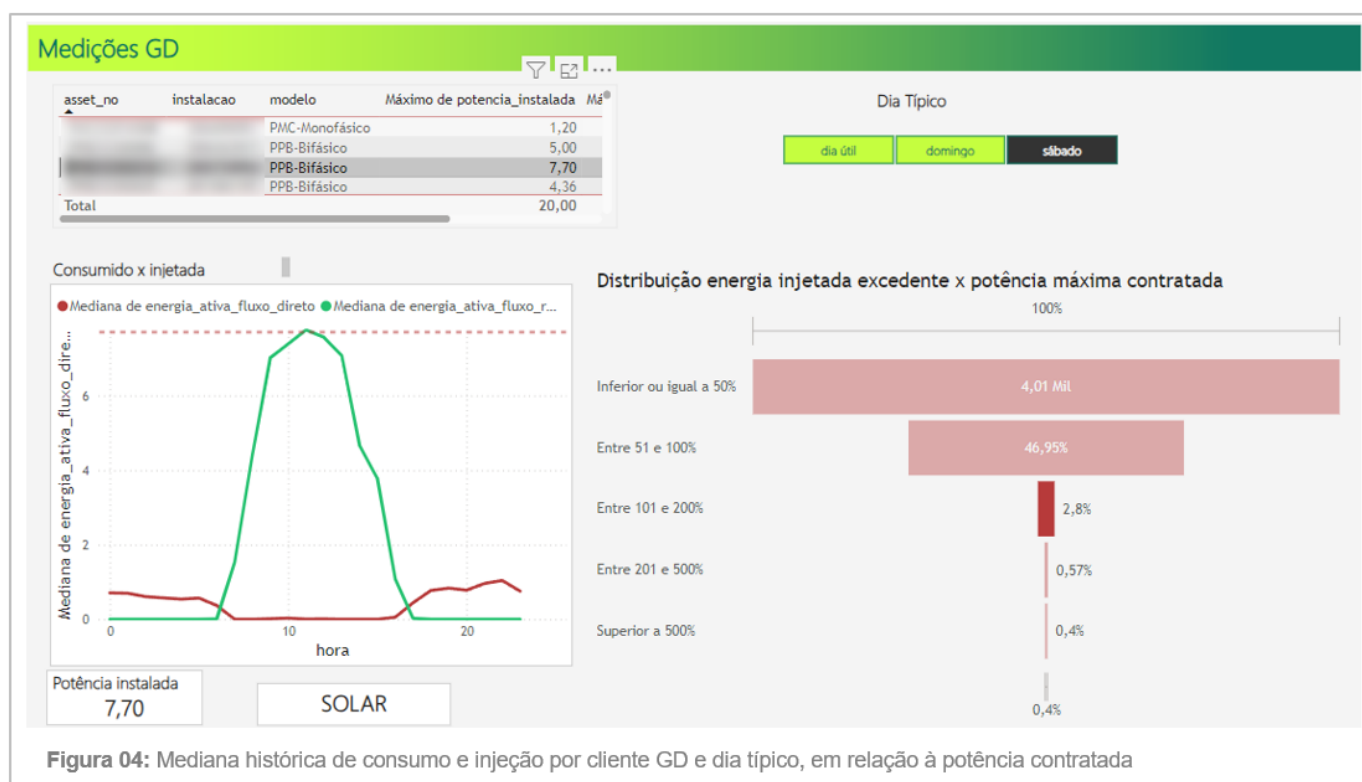
Monitoramento contínuo e controle da potência máxima contratada

A regulamentação da ANEEL abrange diversos aspectos relacionados à segurança, proteção, conexão e compensação de energia em sistemas de GD. O consumidor-gerador (unidade com GD) deve garantir que a instalação esteja em conformidade com as normas técnicas, para evitar impactos negativos, como oscilações de tensão e desbalanceamento de fases. A concessionária é responsável por monitorar a estabilidade da rede e integrar o sistema GD de forma segura.

Controlar a geração distribuída para que não ultrapasse a potência máxima contratada é fundamental para evitar problemas técnicos e respeitar as normas regulatórias. Uma abordagem comumente utilizada envolve a instalação de equipamentos que controlam diretamente a geração e a injeção de energia na rede. Inversores podem ser programados para limitar a potência máxima de saída, garantindo que a geração não exceda a potência contratada. Relés de proteção podem desconectar os sistemas de geração da rede se os limites pré-estabelecidos forem excedidos. Baterias de armazenamento ajudam a equilibrar a geração e o consumo, evitando picos de injeção que possam exceder a potência contratada.

Com o AMI, surge uma nova abordagem para o controle da potência máxima contratada, baseada em monitoramento e penalização. O AMI oferece uma visão detalhada e contínua do comportamento energético, permitindo uma gestão mais precisa. Se a geração de energia exceder a potência máxima contratada, a concessionária pode aplicar penalidades financeiras ao cliente. Essas penalidades incentivam o cliente a gerenciar melhor sua geração de energia e a evitar exceder os limites estabelecidos.

Os dados de GD do AMI foram combinados com os dados comerciais e informações de potência contratada. Uma curva típica de injeção foi calculada para cada GD, estratificada por dia da semana. O pico da curva foi confrontado com a potência máxima instalada. As informações consolidadas foram disponibilizadas em um painel onde é possível avaliar de forma sumarizada o pico da distribuição da energia injetada em relação a potência contratada, e também é possível avaliar individualmente as curvas típicas de fluxo direto e reverso dos clientes.



Os resultados possibilitaram, de maneira simples, rápida e amigável, a identificação de clientes que não estão cumprindo a demanda máxima contratada, além de revelar, em alguns casos, erros cadastrais relacionados aos limites contratuais.

O uso do AMI pode diminuir a necessidade de controle físico em muitos casos, reduzindo a dependência de equipamentos caros e melhorando a eficiência operacional. Além disso, a aplicação de penalidades tarifárias ajuda a manter o sistema dentro dos limites operacionais, promovendo a segurança e a sustentabilidade da rede elétrica sem a necessidade de intervenção constante em equipamentos físicos.

Operações Remotas de Desconexão e Religamento na GD

Quando um cliente excede repetidamente a potência máxima contratada, a concessionária pode utilizar a funcionalidade de desconexão remota do AMI. Essa medida permite interromper o fornecimento de energia de forma rápida e eficiente, sem a necessidade de intervenção física no local. A desconexão remota serve como um mecanismo de controle rigoroso para garantir que os limites contratuais sejam respeitados.

Após a desconexão, o religamento remoto pode ser realizado assim que o cliente tomar as medidas necessárias para corrigir o excesso de demanda. Essa operação também é realizada de forma rápida e eficiente, restabelecendo o fornecimento de energia sem a necessidade de deslocamento de equipes técnicas. O religamento remoto facilita a retomada do serviço, minimizando o tempo de interrupção para o cliente.

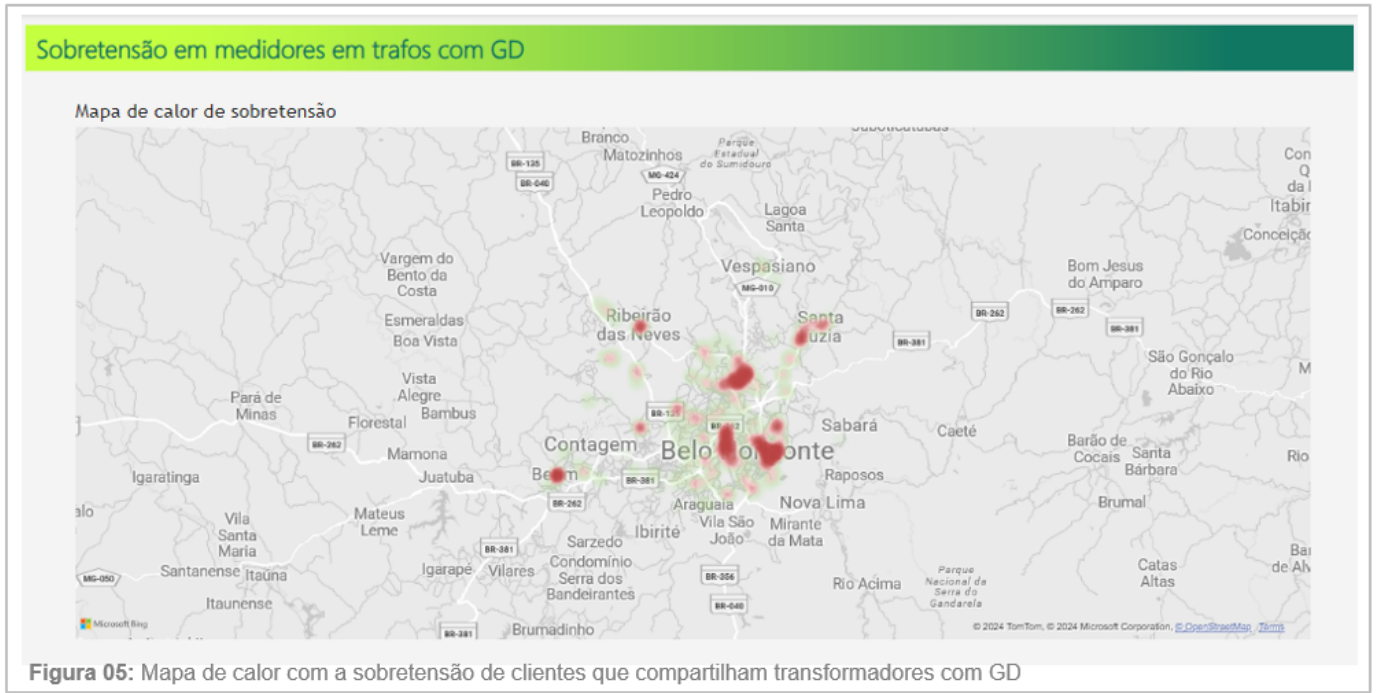
Monitoramento da Qualidade de Energia

A inversão de fluxo na rede elétrica ocorre quando a quantidade de energia gerada pelos sistemas de Geração Distribuída supera a demanda dos consumidores conectados à mesma rede, fazendo com que a energia flua do consumidor para a rede, em vez do contrário. Essa inversão pode levar a desequilíbrios de tensão, especialmente em redes que não foram projetadas para lidar com fluxos bidirecionais de energia. Isso pode resultar em flutuações de tensão que afetam a estabilidade da rede.

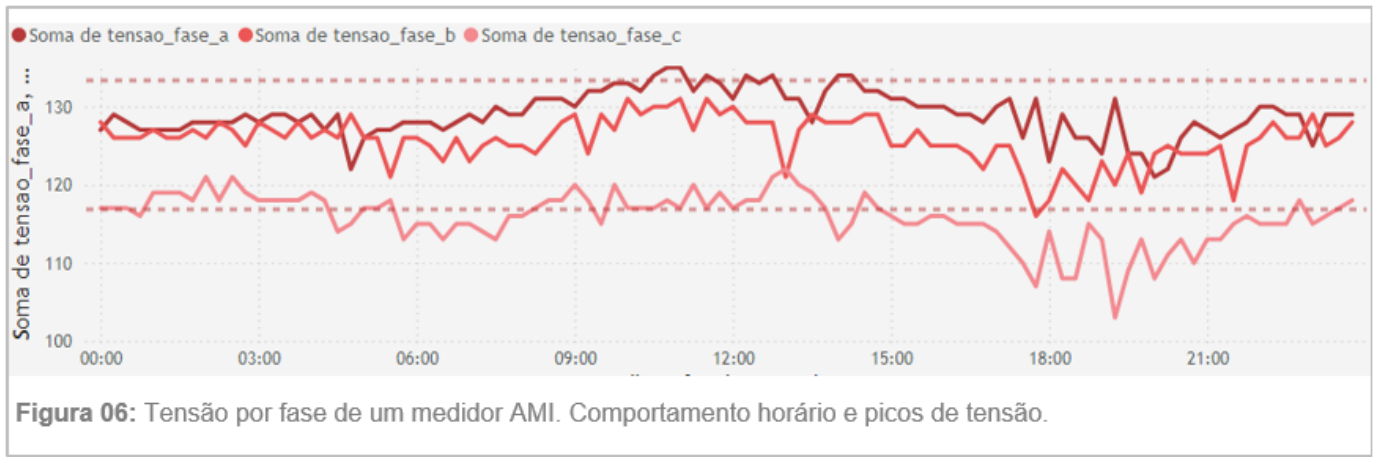
A GD pode elevar os níveis de tensão em determinadas partes da rede, exigindo ajustes e maior controle por parte da concessionária. Quando a geração de energia excede a capacidade de absorção da rede

local, pode ocorrer sobrecarga nos transformadores e outros equipamentos da rede, reduzindo sua vida útil e aumentando os custos de manutenção.

Utilizando a abordagem de “sensoriar” indiretamente elementos da rede a partir dos medidores AMI, é possível identificar se um transformador está sofrendo impactos da GD monitorando os outros clientes com medidores inteligentes AMI conectados ao mesmo transformador. Para uma visualização intuitiva, a CEMIG implementou painéis com mapas de calor, que são uma forma eficaz de visualizar grandes volumes de dados, pois permitem identificar rapidamente áreas com problemas de oscilação de tensão.



Os painéis oferecem recurso de *drill down*, que possibilita aprofundar a análise e identificar padrões específicos de oscilação de tensão em diferentes níveis, desde a visão geral até o detalhe por cliente.



Ao permitir a análise detalhada por cliente, foi possível diagnosticar com precisão quais clientes estão sendo mais afetados pelas oscilações de tensão e entender melhor as causas desses problemas. O AMI facilita a identificar essas oscilações e, consequentemente, a direcionar medidas corretivas.

Benefícios do AMI para a GD e próximos passos

Conforme demonstrado nesse artigo, a importância e os benefícios dos medidores inteligentes (AMI) para o monitoramento e controle da Geração Distribuída (GD) são amplamente reconhecidos. Através do monitoramento detalhado, é possível melhorar a qualidade de energia fornecida aos clientes, minimizando os impactos negativos da GD e melhorando a estabilidade da rede. Esses benefícios reforçam como a expansão do uso de AMI em clientes GD é uma estratégia vantajosa para a concessionária e clientes.

A topologia de rede atual dos 370 mil clientes AMI é a rede em malha (*mesh*). Os medidores se conectam entre si, formando uma rede distribuída. Cada medidor age como um nó, transmitindo dados próprios e de outros nós até um *gateway* central, denominado concentrador. Esse tipo de rede possui alta resiliência dentro de áreas densas. Se um nó falha, a rede encontra rotas alternativas. Redes *mesh* são mais eficazes em áreas relativamente pequenas e densas, como ambientes urbanos ou empresariais. Em áreas rurais ou dispersas, como é o caso da GD, a cobertura pode ser insuficiente devido à distância entre os pontos de acesso.

Nesse cenário o NB-IoT e CAT-M se apresentam como alternativas, visto que há conexão direta de cada medidor à uma estação-base da operadora (topologia ponto-a-multiponto) sem depender de outros medidores intermediários para transmitir seus dados. Ambos oferecem cobertura ampla, pois utilizam redes celulares (LTE ou 5G) das operadoras. Em termos de custos operacionais, o NBIOT/CAT-M demanda plano de dados por medidor, ao contrário da rede *mesh* que é um plano de dados por concentrador. Apesar do custo operacional associado, o projeto de NB-IoT/CAT-M para AMI em GD aumenta a capilaridade e oferece um retorno significativo. Com 30 mil medidores NB-IoT/CAT-M, será possível monitorar 60% das maiores instalações de GD da CEMIG.

O projeto de expansão de AMI na GD, já em andamento na CEMIG, está implementando tanto a tecnologia NB-IoT quanto CAT-M1, dependendo da disponibilidade da rede em diferentes áreas. Essa abordagem híbrida nos permite maximizar a cobertura e a eficiência do sistema de medição inteligente para a GD.

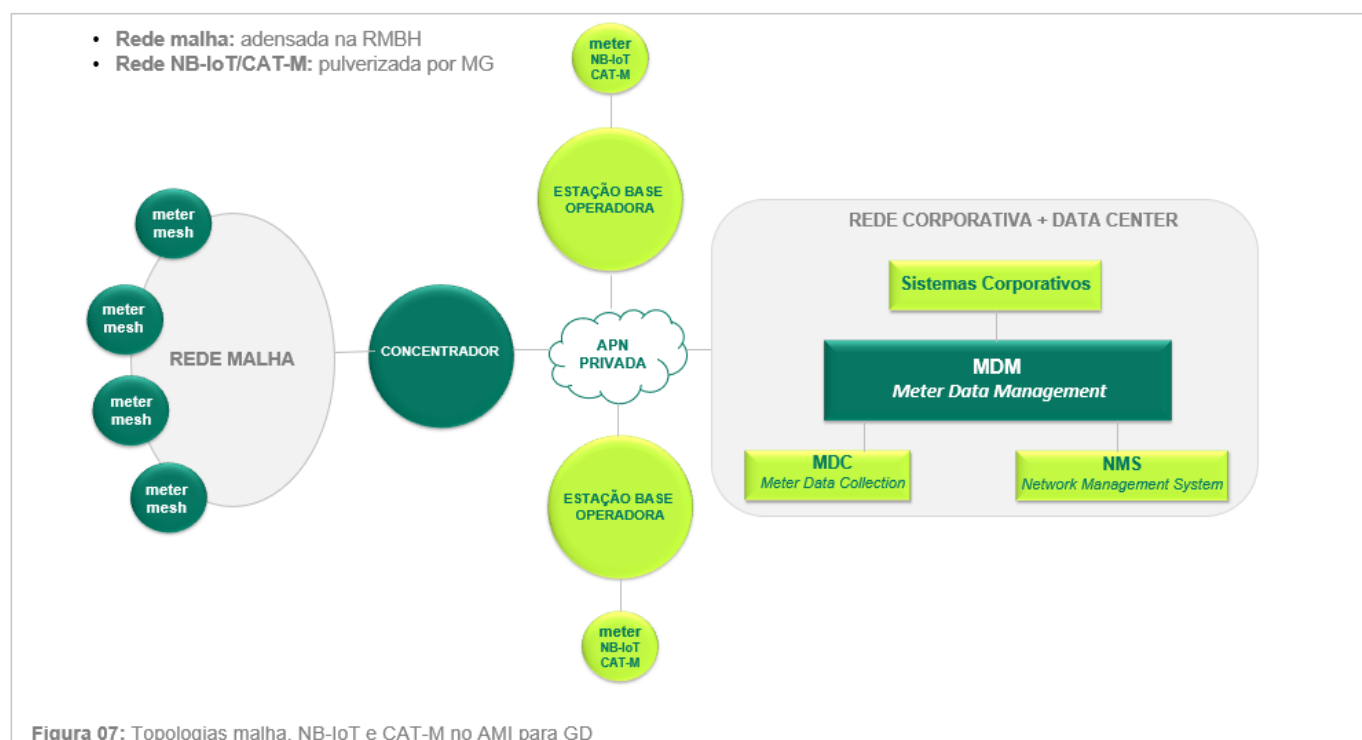


Figura 07: Topologias malha, NB-IoT e CAT-M no AMI para GD

Outro projeto em andamento a ser beneficiado pelo AMI na GD é a implantação do *Advanced Distribution Management System* (ADMS). O uso das informações de GD e sua integração com outros sistemas,

como o ADMS, traz diversos benefícios e melhorias para a gestão da rede elétrica. Com os dados de GD, é possível identificar rapidamente anomalias, como oscilações de tensão e sobrecargas, que podem ser causadas pela geração distribuída. A integração dos dados de GD com o ADMS permite uma coordenação mais eficaz das operações da rede, melhorando o controle e a resposta a eventos, ajudando a antecipar problemas e planejar intervenções de forma proativa.

3. Conclusão

A Infraestrutura de Medição Avançada (AMI) desempenha um papel crucial no contexto da Geração Distribuída (GD), oferecendo uma série de benefícios que vão desde a eficiência operacional até a melhoria da qualidade do serviço. A capacidade de monitoramento contínuo dos padrões de geração e consumo de energia permite uma gestão mais precisa e eficaz da rede elétrica. Além disso, o controle rigoroso da potência contratada e a possibilidade de aplicar penalidades e desconexão remota ajudam a manter a estabilidade e a confiabilidade do sistema.

A integração de tecnologias como NB-IoT e CAT-M1 amplia a cobertura e a robustez do AMI, adaptando-se às necessidades específicas de diferentes regiões, especialmente aquelas com localização dispersas e rurais. A expansão e o aprimoramento do AMI são estratégicos para enfrentar os desafios e aproveitar as oportunidades trazidas pela Geração Distribuída, contribuindo para uma rede elétrica mais inteligente, resiliente e sustentável.

4. Referências bibliográficas

- CLARK, E. **What is behind The Meter (BTM) energy storage?** Disponível em: <<https://energytheory.com/what-is-behind-the-meter-btm-energy-storage/>>. Acesso em: 21 nov. 2024.
- **Geração - CCEE.** Disponível em: <<https://www.ccee.org.br/dados-e-analises/dados-geracao>>. Acesso em: 21 nov. 2024.
- **Expansão de 9,1 GW impulsiona matriz elétrica centralizada brasileira em 2024.** Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/expansao-de-9-1-gw-impulsiona-matriz-eletrica-centralizada-bras>>. Acesso em: 21 nov. 2024.
- **Inversão de Fluxo na Rede Elétrica: Entenda as Mudanças na Geração Distribuída.** Disponível em: <<https://www.romagnole.com.br/noticias/inversao-de-fluxo-na-rede-eletrica-entenda-as-mudancas-na-geracao-dist>>. Acesso em: 21 nov. 2024.
- LUIZ, A. C. M. **AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA PARA PROTEÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO.** Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-95QKB8/1/gd_mestrado_revisado_jun12.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2024.
- SOLUÇÕES, D. **NB-IoT e CAT-M1: as poderosas tecnologias de comunicação M2M.** Disponível em: <<https://datatem.com.br/nb-iot-e-lte-m/>>. Acesso em: 22 nov. 2024.