



## Caso de uso OpenMDX na CELESC: Uma solução de MDC e MDM, multi-tecnologia e multi-vendor.

**Tema:** Sistemas de Medição

**Autores:** Guilherme Saidler, Eduardo de Liz Hampel, Francisco Agenário Vasconcelos Junior, André Luiz Carneiro Araújo, Isabel Frota Costa, Rogério Guerra Diógenes Filho, Jamilly Cristina de Sousa, Francisco Gustavo Lopes da Silva

**Co-Autores:** Fabrício Evangelista Sousa, Davi Willian Frota Costa, Samuel Frota Costa

**Empresa:** NEPEN

### Resumo

O OpenMDX é uma plataforma modular e escalável que desempenha um papel estratégico na modernização do setor elétrico brasileiro, especialmente no contexto da telemedição. Com foco em MDC (Meter Data Collection) e MDM (Meter Data Management), a plataforma promove integração eficiente de tecnologias como Wi-SUN, NB-IoT e LTE, atendendo às necessidades de flexibilidade e interoperabilidade exigidas pelas distribuidoras de energia.

Na CELESC, o OpenMDX conectou mais de 70 mil medidores inteligentes utilizando concentradores Wi-SUN, com rollout planejado para 300 mil dispositivos inicialmente. Além disso, a plataforma permitiu a comunicação direta com NICs NB-IoT e CAT-M1, promovendo uma infraestrutura de telemedição robusta e eficiente, alinhada às necessidades operacionais e regulatórias da distribuidora. Esses resultados reforçam o potencial do OpenMDX para suportar operações em larga escala, garantindo a interoperabilidade entre diferentes tecnologias e fornecedores.

A expansão do OpenMDX na CELESC foi viabilizada dentro do contexto do projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) registrado na ANEEL sob o número 12345-6789/2023. Esse projeto incluiu a validação de tecnologias emergentes, como NB-IoT e redes privadas LTE/5G, com o objetivo de explorar casos de uso inovadores no setor elétrico, como o Smart Metering.

### 1. Introdução

A telemedição tem desempenhado um papel crucial na modernização do setor elétrico no Brasil. No Grupo A, que abrange consumidores de alta tensão, como indústrias e grandes estabelecimentos comerciais, a prática já é consolidada. Dados da ANEEL (2017) apontam que mais de 90% dos clientes do Grupo A das distribuidoras brasileiras já estão telemedidos. Esse cenário reflete a maturidade do setor em atender às exigências regulatórias e melhorar a eficiência operacional nesse segmento.

No entanto, para o Grupo B, composto por consumidores de baixa tensão, como residências e pequenos comércios, a realidade ainda é diferente. Embora projetos avançados de AMI (Advanced Metering Infrastructure) estejam sendo liderados por empresas como COPEL, CEMIG e CELESC, o número de clientes telemedidos ainda é limitado. A COPEL, por exemplo, deverá atingir apenas 16% do parque de medidores do Grupo B ao final de seu atual projeto de expansão (COPEL, 2024). No cenário nacional, a taxa geral de telemedição para esse grupo é inferior a 5%, somando-se todas as distribuidoras.

Ainda que os números sejam baixos, é inegável que a telemedição tem crescido de forma constante. Benefícios financeiros e operacionais, como incremento de faturamento, redução de perdas técnicas e não técnicas, redução do PMSO (Pessoal, Material, Serviço e Obra), monitoramento detalhado da carga nos transformadores, identificação antecipada de problemas e rápido reconhecimento de falhas, têm justificado o investimento inicial

com a expansão do mercado livre para consumidores do Grupo B (AMI, 2022), surgem novos desafios relacionados à comunicação eficiente para medições precisas e acompanhamento em tempo real do consumo. A telemedição será ainda mais estratégica, fornecendo dados confiáveis e detalhados para consumidores e distribuidoras. Soluções tecnológicas como Wi-SUN, NB-IoT, PLC e outras redes de comunicação serão essenciais para atender às demandas de flexibilidade e interoperabilidade. Nesse contexto, a modernização da infraestrutura de telemedição no Grupo B torna-se uma necessidade estratégica para o sucesso da transição ao mercado livre.

No Grupo A, a tecnologia predominante é a comunicação celular, com muitas remotas 2G ainda em operação e dispositivos mais modernos utilizando NB-IoT e CAT-M1. Esse modelo é viável devido à dispersão geográfica dos consumidores, o que torna redes mesh praticamente inviável. Já no Grupo B, embora cenários rurais possam justificar o uso de tecnologias celulares — conforme exigências da REN 956 (ANEEL, 2021) —, em grandes centros urbanos, a tecnologia Wi-SUN se destaca como a principal escolha nos projetos de AMI. É evidente que não haverá uma única tecnologia capaz de atender a todo o Grupo B, dadas as suas características diversificadas. Tecnologias emergentes, como NTN (Non-Terrestrial Network), que habilitam comunicação IoT satelital (Zhou et al., 2024), apresentam potencial para atender áreas isoladas, complementando soluções baseadas em Wi-SUN para consumidores em zonas rurais.

Além da diversidade tecnológica, um desafio adicional no Grupo B é a falta de padronização, como já abordado em vários trabalhos (Li et al., 2013) (Štruklec e Maršić, 2011) (Krivic et al., 2020). Fabricantes de medidores e fornecedores de NICs frequentemente precisam adaptar seus dispositivos a diferentes MDCs e MDMs do mercado, desenvolvendo drivers específicos para cada sistema. Esse processo demanda tempo e pode atrasar os rollouts dos projetos, reduzindo a oferta de soluções para as distribuidoras em um mercado que cresce aceleradamente.

No caso da CELESC, um projeto que explora tecnologias LTE/5G para diversos casos de uso, incluindo Smart Metering. A empresa planeja conectar 690 medidores à sua rede privada na faixa 410 MHz (B87), mas já opera dois grandes projetos baseados em Wi-SUN (Florianópolis e Araranguá). Esse cenário demonstra a necessidade de uma solução que integre diferentes tecnologias e fornecedores, garantindo interoperabilidade e eficiência.

A digitalização do setor elétrico tem exigido soluções cada vez mais flexíveis e escaláveis para atender às demandas de gestão de Smart Meters. Nesse contexto, o OpenMDX surge como uma plataforma inovadora, desenhada para coletar e gerenciar dados de dispositivos inteligentes, com foco em MDC (Meter Data Collection) e MDM (Meter Data Management). Sua arquitetura modular, baseada em especificações abertas, oferece suporte a múltiplas tecnologias e fornecedores, diminuindo barreiras de interoperabilidade e promovendo um ecossistema dinâmico no qual diferentes fabricantes e tecnologias coexistem de maneira eficiente.

Uma das principais características do OpenMDX é sua capacidade de integração com tecnologias como NB-IoT, Wi-SUN, LTE e LoRaWAN. Além disso, a plataforma permite a integração com sistemas comerciais, como o SAP e formas de integração com outros sistemas comerciais. O caso da CELESC é emblemático e demonstra o potencial do OpenMDX: atualmente, a plataforma conecta mais de 70 mil medidores inteligentes via concentradores Wi-SUN, com rollout planejado para atingir 300 mil dispositivos conectados, além de integrar NICs que utilizam NB-IoT e CAT-M1. Um fato interessante sobre os dispositivos WiSUN, que o projeto AMI de Florianópolis (30 mil medidores com rollout de 270 mil em curso) a integração é diretamente com MDC do fornecedor de medidor, já o projeto AMI de Araranguá, o MDX conecta-se diretamente com o concentrador WiSUN, conversando transparente com o DLMS.

## 2. Desenvolvimento

O OpenMDX é uma solução modular e escalável, projetada para conectar dispositivos IoT e integrar sistemas de diferentes naturezas de forma eficiente e segura. Sua arquitetura organiza-se em camadas bem definidas, que promovem flexibilidade, interoperabilidade e crescimento sustentável. Cada camada desempenha um papel específico, desde a interação com dispositivos e sistemas externos até o processamento e armazenamento de dados.

A arquitetura distingue dois fluxos principais:

- **Lado esquerdo:** Comunicação direta de NICs/DCUs com o sistema, processando dados de dispositivos IoT.
- **Lado direito:** Integrações entre sistemas, como MDCs, MDMs e soluções comerciais, permitindo trocas seguras de informações entre plataformas.

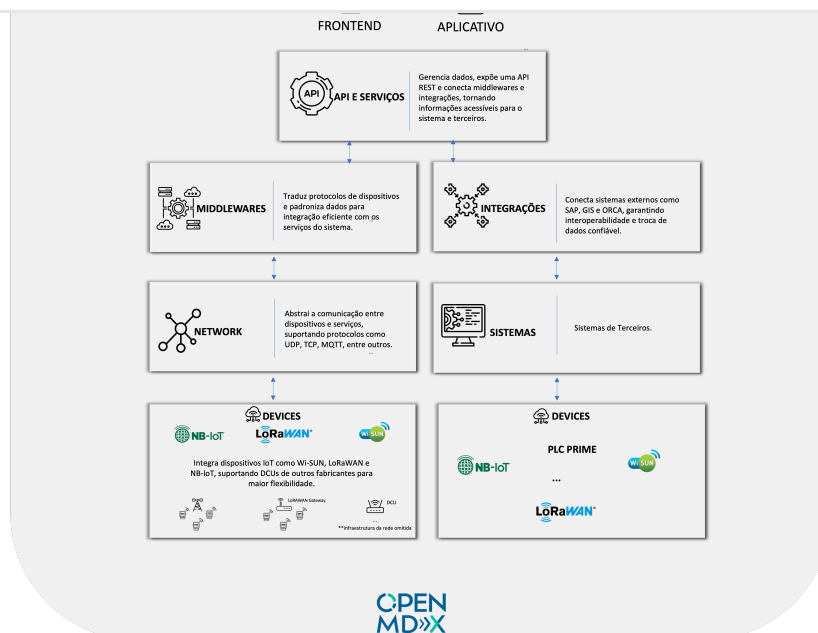


Figura 1 - Visão Geral Arquitetura Open MDX.

Um dos pilares do OpenMDX é a flexibilidade na escolha dos bancos de dados, permitindo integração com qualquer banco relacional suportado pela concessionária. Na implementação com a CELESC, por exemplo, utilizou-se o **TimescaleDB** para dados temporais e o **MongoDB** para armazenamento geral. Em outras empresa, foi optado pela utilização do **Oracle**, que destacou a capacidade do OpenMDX de adaptar-se a infraestruturas específicas existentes.

O **TimescaleDB**, por ser um banco de dados relacional otimizado para séries temporais, é ideal para lidar com grandes volumes de leituras cronológicas de dispositivos IoT. Ele oferece eficiência na consulta de dados históricos e suporte a análises temporais detalhadas. Já o **MongoDB**, com sua flexibilidade para armazenar dados estruturados e não estruturados, complementa o sistema no gerenciamento de informações que não seguem padrões rígidos de modelagem. Essa flexibilidade também permite a integração com outros bancos relacionais, como PostgreSQL, MySQL ou Oracle, sempre que necessário.

Além dos bancos de dados, o OpenMDX utiliza **Kubernetes** para orquestração de contêineres, garantindo escalabilidade e resiliência. A combinação dessas tecnologias é essencial para atender às demandas de um sistema de larga escala, garantindo alta disponibilidade e adaptabilidade a diferentes infraestruturas.

## 2.2 – FUNCIONALIDADES DO SISTEMA

O OpenMDX foi desenvolvido para oferecer um conjunto abrangente de funcionalidades que suportam as operações de distribuidoras de energia no âmbito de projetos AMI. Essas funcionalidades foram projetadas para atender demandas de comunicação, processamento de dados e integração de sistemas, garantindo eficiência e flexibilidade em diferentes cenários operacionais.

As principais funcionalidades incluem:

**Gerenciamento de dispositivos IoT:** O OpenMDX permite conectar, monitorar e gerenciar dispositivos IoT de diferentes fabricantes e tecnologias, como Wi-SUN, LoRaWAN e NB-IoT. Essa funcionalidade suporta coleta de dados em tempo real, diagnóstico remoto e controle centralizado de dispositivos, independentemente do protocolo ou infraestrutura utilizada.

**Camada de interoperabilidade de protocolos:** A integração de middlewares com suporte a protocolos como DLMS e NICs proprietárias garante que o OpenMDX possa processar dados de dispositivos de diferentes fabricantes, traduzindo-os para um formato padronizado. Isso simplifica a comunicação entre os dispositivos e os módulos centrais do sistema.

**Funcionalidades específicas de MDC (Meter Data Collection):** O OpenMDX atua como um MDC robusto, oferecendo: Coleta de leituras de medidores em tempo real ou por intervalos programados, comunicação direta com NICs e DCUs por meio de protocolos como DLMS, processamento de eventos, como alarmes de falhas ou alertas de consumo anormal, envio de comandos para dispositivos, como corte e religação remota de energia, recuperação de dados de energia, parametrização, entre outros.

**Funcionalidades específicas de MDM (Meter Data Management):**

Como MDM, o OpenMDX gerencia e processa grandes volumes de dados de medidores, permitindo:

escalar horizontalmente conforme a necessidade. Novos dispositivos ou sistemas podem ser integrados sem impacto na performance, e as atualizações podem ser realizadas sem interrupções operacionais.

**Gestão de séries temporais e dados estruturados:** Com a utilização de bancos como TimescaleDB e MongoDB, o OpenMDX armazena e processa grandes volumes de dados de dispositivos, oferecendo eficiência em consultas históricas e análises detalhadas. Essa funcionalidade é essencial para aplicações que dependem de dados temporais, como monitoramento de consumo e controle de carga.

**Exposição de APIs REST:** O sistema expõe APIs REST bem documentadas para integração com sistemas externos, como SAP, GIS, MDCs e MDMs. Isso permite que o OpenMDX atue como um hub central, conectando diferentes plataformas de maneira fluida.

**Flexibilidade para personalizações específicas:** O sistema foi projetado para atender às necessidades específicas de cada cliente, permitindo customizações em aspectos como escolha de bancos de dados, protocolos suportados e integrações adicionais.

**Monitoramento e auditoria:** O OpenMDX inclui funcionalidades para rastrear eventos e atividades do sistema, garantindo visibilidade operacional e suporte a auditorias. Essa funcionalidade é essencial para atender a requisitos regulatórios e identificar problemas rapidamente.

2.3 – DETALHE DA ARQUITETURA

Na Figura 2, apresento detalhes dessa arquitetura, destacando como cada camada contribui para a funcionalidade e flexibilidade do OpenMDX.

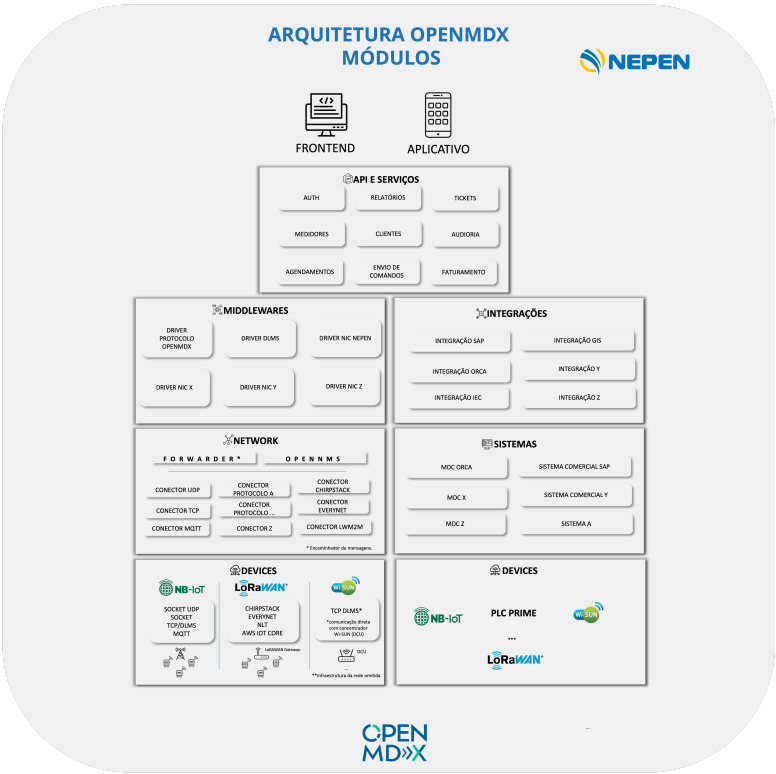


Figura 2 - Detalhamento dos módulos e camadas.

Frontend e Aplicativo

A camada de Frontend é a interface principal de interação do sistema, desenvolvida com foco em acessibilidade e usabilidade. Utilizando o framework Vue.js, as interfaces web são responsivas e intuitivas, permitindo que técnicos e administradores realizem operações como monitoramento de dispositivos, geração de relatórios e execução de comandos. Para garantir alta disponibilidade e desempenho, o Frontend utiliza Nginx como servidor web e balanceador de carga.

Essa camada é responsável por fornecer uma visão clara e acessível das operações do sistema, tanto por meio de navegadores quanto de aplicativos móveis. As escolhas tecnológicas permitem que o Frontend atenda a cenários de alta carga sem perda de desempenho.

API e Serviços

Os bancos de dados desempenham um papel fundamental nessa camada. O TimescaleDB gerencia séries temporais, como leituras de dispositivos IoT, enquanto o MongoDB organiza informações para auditoria e controle. Quando necessário, o sistema pode ser integrado a outros bancos relacionais para atender às demandas de clientes com licenças específicas ou infraestruturas legadas.

A utilização de RabbitMQ como sistema de mensageria garante comunicação assíncrona eficiente entre os serviços. Essa combinação de tecnologias permite ao OpenMDX oferecer funcionalidades como autenticação, faturamento, envio de comandos e relatórios de forma robusta e escalável.

### **Middleware**

Os middlewares desempenham a função de intermediários entre os dispositivos IoT e os serviços centrais, traduzindo protocolos de aplicação como DLMS e NICs proprietárias para formatos padronizados para o OpenMDX. Essa abordagem garante interoperabilidade entre dispositivos de diferentes fabricantes e o sistema.

Um destaque importante é a implementação de uma camada transparente DLMS, que simplifica a comunicação com dispositivos de medição sem exigir adaptações específicas para tecnologias de rede. Isso reduz a complexidade de integração e melhora a eficiência operacional.

Os middlewares foram projetados para suportar expansão contínua, permitindo a adição de novos dispositivos e protocolos à medida que surgem novas demandas.

### **Network (Rede e Comunicação)**

A camada de rede gerencia a comunicação entre os dispositivos IoT e o sistema central. Para lidar com a diversidade de protocolos de comunicação, o OpenMDX suporta MQTT, UDP e TCP, garantindo conectividade eficiente e segura.

O uso de Kubernetes para gerenciamento de balanceadores de carga assegura disponibilidade e escalabilidade, permitindo que o sistema opere eficientemente mesmo em cenários de alta carga.

### **Devices**

Os medidores conectam-se ao sistema por meio de NICs ou DCUs, utilizando tecnologias como Wi-SUN, LoRaWAN e NB-IoT. Essa camada coleta dados de medidores e sensores em tempo real, permitindo sua transmissão para o núcleo do sistema.

A flexibilidade do OpenMDX na integração com NICs de diferentes fabricantes garante que ele possa ser implementado em diversas infraestruturas, sem limitações tecnológicas.

### **Integrações e Sistemas de Terceiros**

O OpenMDX foi projetado para integrar-se a sistemas externos, como MDCs, MDMs e soluções comerciais. Essa capacidade garante que o sistema possa atuar como um hub central para operações de concessionárias, conectando diferentes plataformas e promovendo interoperabilidade.

Entre as integrações suportadas estão SAP, para gestão empresarial, GIS e ORCA, MDC da Hexing. A flexibilidade da arquitetura permite que novas integrações sejam adicionadas de forma eficiente, conforme demanda da concessionária.

## **2.4 – OPEN MDX NA CELESC**

A implementação do OpenMDX na CELESC ilustra sua flexibilidade, robustez e capacidade de integração em um ambiente complexo de concessionárias de energia. A arquitetura foi configurada para lidar com múltiplas integrações, processar dados em grande escala e suportar operações críticas, como a comunicação com dispositivos IoT e sistemas corporativos. Abaixo, detalhamos as três principais integrações realizadas na CELESC, destacando os desafios enfrentados e as soluções implementadas. A Figura 3 apresenta o OPEN MDX em ambiente de homologação com 18560 medidores.

### **Integração com MDC ORCA**

A integração com o MDC ORCA é um componente central da operação do OpenMDX na CELESC, permitindo a troca eficiente de informações entre os sistemas. Essa comunicação é realizada por meio de APIs REST configuradas para operações síncronas em intervalos de 30 minutos. Durante cada ciclo, o MDC ORCA envia ao OpenMDX dados de leituras de medidores, alarmes de eventos críticos (como falhas ou irregularidades) e, opcionalmente, solicita comandos, como cortes e religações. O modelo síncrono adotado garante que o MDC receba uma resposta imediata, permitindo monitoramento e controle em tempo real das operações.

A integração foi projetada com um mecanismo de resiliência para garantir confiabilidade mesmo em cenários de instabilidade. Caso as tentativas de salvamento síncrono falhem após três tentativas consecutivas, o sistema

Além do modelo síncrono, o OpenMDX suporta uma alternativa assíncrona, baseada em processamento em batch. Nesse modelo, as mensagens de leitura e eventos são diretamente encaminhadas para filas e processadas de maneira paralela, utilizando os recursos de mensageria para gerenciar a ordem e garantir a consistência dos dados. Embora essa estratégia não tenha sido adotada na CELESC, ela é altamente eficiente para lidar com volumes elevados de dados, especialmente considerando que cada medidor gera quatro requisições distintas para diferentes grandezas. Essa abordagem permite que o sistema mantenha alta performance e escalabilidade, sendo ideal para cenários de maior densidade de dispositivos conectados.

### **Integração com SAP**

A integração com o sistema comercial SAP foi desenvolvida para conectar o OpenMDX a processos críticos de faturamento, gerenciamento de clientes e emissão de ordens de serviço, como cortes e religações. A comunicação é realizada via protocolo SOAP, seguindo o padrão já adotado pelo SAP na infraestrutura da CELESC. Essa escolha exigiu adaptações para garantir que o OpenMDX pudesse operar de forma eficiente com um modelo de comunicação baseado em serviços web legados.

Um dos maiores desafios dessa integração é a ausência de um mecanismo de push de dados no SAP, o que obriga o OpenMDX a adotar uma abordagem ativa para sincronizar informações. Para mitigar esse problema, foram criadas tabelas auxiliares no banco de dados do OpenMDX. Essas tabelas permitem que o sistema mantenha um cache de informações relevantes, reduzindo a necessidade de consultas e atualizações desnecessárias no OpenMDX.

### **Integração com Concentrador**

A comunicação direta com o concentrador destaca a capacidade do OpenMDX de gerenciar dispositivos IoT por meio de protocolos padronizados. Essa integração utiliza DLMS puro, implementado até a camada de transporte, garantindo compatibilidade com qualquer dispositivo que suporte o protocolo DLMS/COSEM. A comunicação é gerenciada por um servidor TCP configurado na porta 4059, amplamente reconhecida como padrão para implementações DLMS.

Essa integração permite que o OpenMDX colete leituras de medidores, receba alarmes de eventos críticos e envie comandos para os dispositivos conectados ao concentrador.

Por ser baseado em DLMS puro, o sistema oferece total interoperabilidade, permitindo a inclusão de novos dispositivos sem necessidade de modificações significativas no código ou na infraestrutura.

Além da coleta de dados em tempo real, o OpenMDX gerencia as sessões de comunicação, incluindo controle de associação e autenticação, garantindo que todas as trocas de informações sejam realizadas de forma segura e eficiente. As informações coletadas são processadas e armazenadas no TimescaleDB, onde podem ser acessadas para geração de relatórios e análises temporais detalhadas.

Outro destaque dessa integração é sua capacidade de lidar com dispositivos de diferentes fabricantes. A utilização de DLMS puro permite que o OpenMDX opere como um hub central para concentradores e medidores, facilitando a gestão de grandes infraestruturas IoT com dispositivos heterogêneos.

### **Smart Meter LTE - NB-IoT/CATM1**

Outro caso que também está sendo experimentado na CELESC no OpenMDX é a instalação piloto de 690 unidades, que fazem parte do projeto P&D da CELESC para uso de LTE/5G para Smart Grids. Esses medidores são conectadas diretamente a uma rede celular privada usando NICs compatíveis com NB-IoT e CATM1, na B87 (410 MHz), tecnologias presentes nas redes LTE. O projeto aproveita o alcance extenso e a capacidade de penetração dessas tecnologias, adequadas para garantir a telemetria e coleta de dados em tempo real, otimizando o fornecimento de energia.



Figura 3 - Print da tela do Open MDX, ambiente de homologação.

No ambiente de homologação da CELESC, o OpenMDX apresentou tempos de resposta consistentes nas requisições REST, com uma latência média inferior a 200ms, mesmo em cenários de alta concorrência. Todas as rotas REST foram projetadas para operar com paginação, o que otimiza a transferência de dados, evitando sobrecarga em operações com grandes volumes de informações.

Além disso, a funcionalidade de central de downloads, que garante que operações de grande volume sejam gerenciadas de forma assíncrona. Esse recurso permite que o sistema processe consultas massivas sem comprometer a performance das APIs principais.

A resiliência do sistema foi reforçada por meio do uso de RabbitMQ para mensageria, garantindo o processamento eficiente de comandos e mensagens críticas, mesmo em momentos de pico. Essa arquitetura modular e bem distribuída permite que o OpenMDX mantenha sua estabilidade em condições de carga elevada, preparando o sistema para suportar os volumes esperados nos próximos dois anos. As Figuras 4 e 5 os tempos para duas rotas, de solicitar medidores e alarmes, respectivamente.

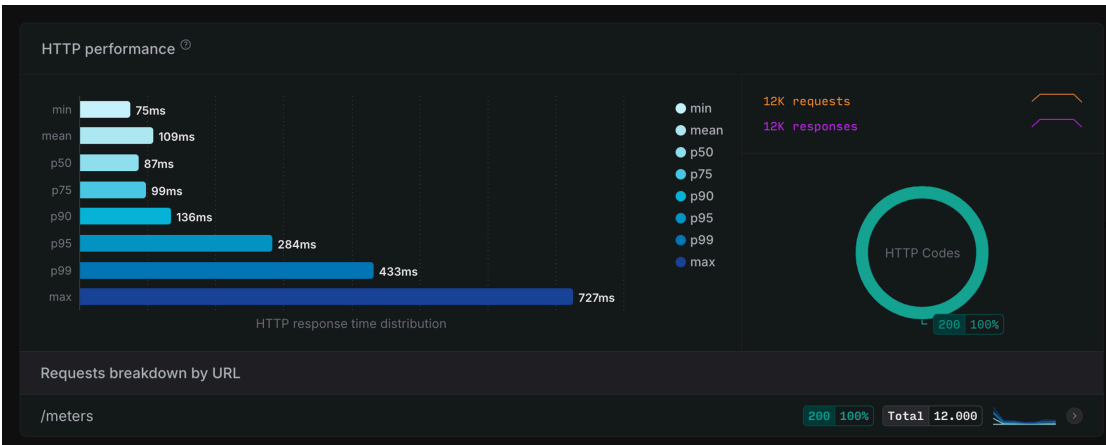


Figura 4 - Tempos em ambiente de homologação CELESC, rota de medidores.

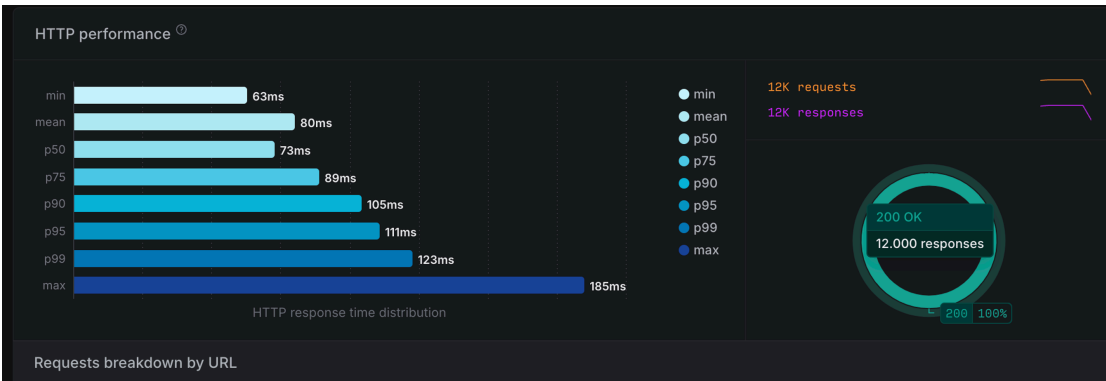


Figura 5 - Tempos em ambiente de homologação CELESC, rota de alarmes.

2.5 - ATUALIZAÇÕES FUTURAS

O OpenMDX, como uma plataforma em constante evolução, possui um roadmap que prioriza a refatoração de módulos e a introdução de melhorias para atender às crescentes demandas das concessionárias e outras empresas que utilizam o sistema. Entre os planos futuros, destaca-se a refatoração para um modelo completamente assíncrono. Apesar de muitos módulos do OpenMDX já utilizarem processamento assíncrono, ainda existem alguns, como os de agendamentos e grupos, que dependem de operações parcialmente síncronas.

mais detalhadas, com ênfase em memória de massa e dados de energia, utilizando inteligência artificial para identificar padrões e gerar insights estratégicos. Isso ajudará na tomada de decisões e permitirá que as concessionárias tenham uma visão mais ampla e precisa sobre consumo e qualidade de energia. Especificamente, os relatórios de qualidade de energia serão aprimorados para incluir análises avançadas que facilitem a entrega de dados no prazo aos sistemas comerciais, atendendo às exigências regulatórias com maior agilidade e precisão. Essa evolução visa reduzir gargalos e aumentar a confiabilidade das informações processadas.

Além disso, está prevista a expansão de funcionalidades baseadas em inteligência artificial para criar análises preditivas e diagnósticos automatizados. Isso permitirá identificar falhas de dispositivos, consumo anormal e otimização de cargas, melhorando a eficiência operacional e a experiência dos clientes. O OpenMDX continuará ajustando integrações, otimizando o desempenho e implementando novas funcionalidades para atender às necessidades específicas de seus usuários e às demandas do mercado e reguladores.

### 3. Conclusão

A digitalização do setor elétrico está transformando a maneira como as distribuidoras gerenciam suas operações e se conectam com os consumidores. Nesse cenário, a telemedição se estabelece como um componente essencial, trazendo benefícios financeiros e operacionais significativos, como a redução de perdas técnicas e não técnicas, a diminuição do PMSO e a melhoria na gestão de cargas e identificação de falhas. Contudo, para atender à crescente complexidade dos projetos, especialmente no Grupo B, são necessárias soluções tecnológicas flexíveis e interoperáveis.

O OpenMDX desponta como uma plataforma inovadora, integrando múltiplas tecnologias e fornecedores, como NB-IoT, Wi-SUN e LTE, em um modelo robusto e escalável. Sua implementação na CELESC ilustra sua capacidade de adaptação a diferentes demandas e infraestruturas, atendendo tanto às necessidades operacionais quanto às exigências regulatórias. Além disso, a interoperabilidade promovida pela plataforma reduz barreiras de entrada para novos fabricantes e acelera os rollouts de projetos.

Com o avanço do mercado livre, que introduz novos desafios relacionados à comunicação e ao monitoramento de dados, o OpenMDX se posiciona como uma solução estratégica para modernizar e ampliar o alcance da telemedição. Sua flexibilidade e eficiência são diferenciais que não apenas atendem às demandas atuais, mas também preparam as distribuidoras para um futuro de maior integração tecnológica e competitividade.

A expansão do OpenMDX para a CELESC foi uma iniciativa essencial dentro da implantação do projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) da CELESC sobre redes 5G, registrado sob o número P&D ANEEL 12345-6789/2023. Esse projeto tem como objetivo validar a integração de tecnologias emergentes, como IoT, inteligência artificial e redes de telecomunicações avançadas, para melhorar a eficiência e a confiabilidade do setor elétrico.

### 4. Referências bibliográficas

1. ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Consulta pública: EDP CP 008/2017. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br>. Acesso em: 8 dez. 2024.
2. ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 956, de 7 de dezembro de 2021. Dispõe sobre os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST). Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2020956.html>. Acesso em: 8 dez. 2024.
3. COPEL - Companhia Paranaense de Energia. Programa Rede Elétrica Inteligente: Avanços e Números Atualizados. Disponível em: <https://visnoinvest.com.br/news/4241/copel-registra-crescimento-de-6-no-mercado-fio-no-terceiro-trimestre-de-2024>. Acesso em: 8 dez. 2024.
4. ŠTRUKLEC, Gordan; MARŠIĆ, Joško. Implementing DLMS/COSEM in smart meters. In: 2011 8th International Conference on the European Energy Market (EEM). Zagreb, Croatia: IEEE, 2011. p. 429-434. DOI: 10.1109/EEM.2011.5953040. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5953040>. Acesso em: 8 dez. 2024.



6. AGÜERO, Julio Romero. Improving the efficiency of power distribution systems through technical and non-technical losses reduction. In: 2016 IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition-Latin America (PES T&D-LA). IEEE, 2016. p. 1–6. DOI: 10.1109/TDC-LA.2016.7826975. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7826975>. Acesso em: 8 dez. 2024.

7. CORBETT, J.; WARDLE, K.; CHEN, C. Toward a Sustainable Modern Electricity Grid: The Effects of Smart Metering and Program Investments on Demand-Side Management Performance in the US Electricity Sector 2009-2012. IEEE Transactions on Engineering Management, v. 65, n. 2, p. 252-263, 2018. DOI: 10.1109/TEM.2018.2819467. Páginas 2, 4 e 5.

8. KRIVIC, Petar; GUBEROVIC, Emanuel; ZARKO, Ivana Podnar; CAVRAK, Igor. Evaluation of selected technologies for the implementation of meter data management system. In: IoT '20: Proceedings of the 10th International Conference on the Internet of Things. Nova York, NY, USA: ACM, 2020. p. 1–8. DOI: 10.1145/3410992.3410999. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/3410992.3410999>. Acesso em: 8 dez. 2024.

9. MME - Ministério de Minas e Energia. Portaria Normativa nº 50/GM/MME, de 27 de setembro de 2022. Dispõe sobre a abertura do mercado livre de energia para consumidores do Grupo A. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 27 set. 2022. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-normativa-n-50/gm/mme-de-27-de-setembro-de-2022-432279937>. Acesso em: 8 dez. 2024.

10. Zhou, D.; Sheng, M.; Bao, C.; Hao, Q.; Ji, S.; Li, J. 6G Non-Terrestrial Networks-Enhanced IoT Service Coverage: Injecting New Vitality Into Ecological Surveillance. IEEE Network, 2024. v. 38, p. 63-71. DOI: 10.1109/MNET.2024.3382246.

Avaliação

5.53

Avaliador	Aplicação	Abrangência	Ordenação	Originalidade	Embasamento
Flavio Henrique Martins Vieira	3.00	2.00	3.00	4.00	2.00
Sérgio Cardoso da Silva	3.00	3.00	4.00	4.00	4.00

---

## Perguntas - Avaliador Flavio Henrique Martins Vieira

**Pergunta 1:** no trabalho é citado que o OpenMDX possui capacidade de lidar com dispositivos de diferentes fabricantes., Como é pensado o tratamento para particularidades de programação dos medidores no OpenMDX?

**Pergunta 2:** NA/NA

**Pergunta 3:** NA/NA

---

## Perguntas - Avaliador Sérgio Cardoso da Silva

**Pergunta 1:** Como o OpenMDX utiliza o TimescaleDB e o MongoDB para otimizar o armazenamento e o processamento de dados temporais e não estruturados em sistemas de larga escala?

**Pergunta 2:** Quais são os benefícios proporcionados pela integração de middlewares com suporte a protocolos como DLMS e NICs proprietárias na camada de interoperabilidade de protocolos do OpenMDX?

**Pergunta 3:** Como a implementação de NICs compatíveis com NB-IoT e CATM1 em medidores inteligentes contribui para a telemetria e coleta de dados em tempo real em projetos de Smart Grids baseados no OpenMDX?

---