



Plataforma de Monitoramento, Gestão, Integração e Orquestração de Recursos Energéticos Distribuídos Aplicada em Fernando de Noronha

Tema: Recursos Energéticos Distribuídos

Autores: Fabio K. Taniguchi - fabiokt@cpqd.com.br; Luiz A. G. Rolim - lrolim@cpqd.com.br; Christina C. Costa - chris@cpqd.com.br

Co-Autores: José Antonio de Souza Brito - jbrito@neoenergia.com; Roberto Boquetti Junior - roberto.boquetti@neoenergia.com; Victor Borba Lins - victor.lins@neoenergia.com

Empresa: Companhia Energética de Pernambuco - NEOENERGIA Pernambuco

Resumo

Com o intuito de reduzir a emissão de dióxido de carbono provenientes de veículos à combustão, Fernando de Noronha proibirá a entrada de tais automóveis a partir de 2025, incentivando a adoção de Veículos Elétricos (VEs). Apesar disso, a energia elétrica de FN ainda provém majoritariamente de geradores a diesel, e a recarga dos VEs pode resultar em aumento das emissões de CO₂. O Projeto PD-00043-0087/2019 ANEEL da Neoenergia considera, portanto, a inserção da Mobilidade Elétrica (ME) de forma sustentável, associada à geração fotovoltaica (FV) e ao uso de baterias. Contudo, cenários envolvendo recargas simultâneas de VEs, excesso de geração FV e operação inadequada das baterias podem causar distúrbios na Qualidade de Energia Elétrica, como sub/sobretensões, sobrecorrentes e aumento das perdas técnicas, dificultando a inserção sustentável de Recursos Energéticos Distribuídos na ilha. Para solucionar esses problemas, o projeto desenvolveu uma Plataforma de Monitoramento, Gestão, Integração e Orquestração de DERs, composta por interfaces de gestão, middleware de Internet das Coisas (IoT), um módulo de gerenciamento de processos, coleta de dados SCADA e um Orquestrador, que define a operação do BESS e as potências de recarga dos EPs, visando reduzir perdas técnicas e a importação de energia da subestação.

1. Introdução

A partir de 10 de agosto de 2025, o arquipélago de Fernando de Noronha (FN) proibirá a entrada de veículos movidos a combustão, conforme a Lei 16.810/2020 (LEIS ESTADUAIS, 2022) sancionada pelo ex-governador de Pernambuco, Paulo Câmara, e aprovada pela Assembleia Legislativa de Pernambuco (Alepe) em 7 de janeiro de 2020. A legislação, intitulada Noronha Carbono Zero, já sofreu alterações em seu cronograma inicial: a medida, que originalmente entraria em vigor em agosto de 2022, sendo postergada para agosto de 2023 e, mais recentemente, para 2025 (ALEPE, 2023). Além disso, a circulação desses veículos na ilha será totalmente proibida a partir de 2030. A regra abrange automóveis que utilizam combustíveis fósseis, como gasolina, álcool ou diesel, posicionando FN como o primeiro local no Brasil a adotar tais restrições, reforçando o compromisso com a preservação ambiental e a conscientização sobre o papel dos cidadãos na mitigação das mudanças climáticas.

Apesar do avanço, há desafios significativos. Atualmente, a energia elétrica em FN é gerada majoritariamente por geradores a diesel. E, com o aumento da penetração de Veículos Elétricos (VEs), espera-se

um crescimento na demanda energética, o que pode elevar as emissões de CO₂. Além disso, a recarga simultânea dos VEs, especialmente em horários de pico, pode causar impactos na Qualidade de Energia Elétrica (QEE) da rede elétrica, como redução da magnitude de tensão (sub-tensão) em pontos de conexão comuns na rede elétrica (MADUREIRA, 2017).

Historicamente, a instalação de DERs seguiu o modelo "fit and forget", sem a integração plena de suas operações na rede elétrica, o que limita o aproveitamento de seus benefícios e dificulta a visibilidade para as concessionárias. Contudo, para uma transição energética sustentável, é fundamental integrar outros Recursos Energéticos Distribuídos (DERs), como sistemas de geração distribuída (GDs) e Sistemas de Armazenamento de Energia (SAEs). Esses recursos descentralizam a geração e flexibilizam a gestão da demanda, mas sua operação eficiente exige uma plataforma capaz de monitorar, controlar e orquestrar em tempo-rel todos os DERs conectados à rede (TANIGUCHI, 2019).

Nesse cenário, destaca-se a funcionalidade Smart Charging, disponível em alguns eletropostos (EPs) que utilizam os protocolos Open Charge Point Protocol (OCPP) 1.6 e 2.0.1, que permite ajustar a potência de recarga e otimizar os perfis de potência dos Eps ao longo do dia, minimizando os impactos no sistema elétrico e equilibrando a demanda com a capacidade da rede e a disponibilidade de pontos de recarga. Adicionalmente, os avanços tecnológicos dos VEs possibilitam a integração do conceito Vehicle-to-Grid (V2G), que transforma os VEs em elementos ativos na rede elétrica. Com o V2G, os VEs podem não apenas "consumir" energia durante a recarga, mas também armazenar e devolver eletricidade para a rede, possibilitando o uso eficiente das baterias e a estabilidade do sistema (PINTO, 2020).

Dentro desse contexto, o Projeto P&D ANEEL-Neoenergia, "Aplicações Ambientalmente Sustentáveis da Mobilidade Elétrica para a Ilha de Fernando de Noronha – PD-00043-0087/2019", aborda essas questões. Ele propõe a inserção da Mobilidade Elétrica (ME) de forma sustentável, associada à expansão da geração fotovoltaica (FV) e do armazenamento de energia. Assim, o projeto incluiu a instalação de EPs convencionais e V2G, dois sistemas de geração FV de 50 kWp e um SAE de 100 kW / 215 kWh. Além disso, foi desenvolvida uma Plataforma de Monitoramento, Gestão, Integração e Orquestração de DERs, capaz de otimizar a operação desses recursos e mitigar impactos à QEE, como variações de tensão, perdas técnicas e baixa eficiência.

A plataforma integra-se com EPs e DERs, coordenando suas operações ótimas, garantindo uma transição energética sustentável e o uso eficiente dos recursos energéticos disponíveis em Fernando de Noronha.

2. Desenvolvimento

2.1 No projeto Projeto P&D ANEEL da Neoenergia foi implementado uma Plataforma com as seguintes características.

- Capacidade de comunicação com EPs convencionais através dos protocolos OCPP 1.6 e 2.0.1 e com EPs V2G, BESS e inversores FVs através do protocolo Modbus;
- Capacidade de adquirir parâmetros/medições de cada um dos dispositivos conectados com a plataforma;
- Capacidade de gerenciar cada um dos dispositivos, possibilitando desde o envio de parâmetros para alteração de status (disponibilidade, ligado/desligado, etc) até a definição/alteração da operação (variação da potência nominal, carga/recarga, etc);
- Definição das potências ideais de recarga em cada EP previsto no projeto ao longo de um dia ou período, a fim de mitigar impactos à QEE nos consumidores próximos, picos de demanda e sobrecargas nos conjuntos elétricos;

- Atuação otimizada do sistema de armazenamento de energia, indicando os períodos e/ou instantes para a carga ou descarga, nivelamento da carga e redução da demanda de pico, minimizando além das perdas técnicas, as variações bruscas da demanda no barramento de média tensão da subestação otimizando, consequentemente, a eficiência dos geradores à diesel;

A Figura 1 apresenta os componentes da solução implementada para FN e, a seguir é detalhada a arquitetura considerada para a Plataforma desenvolvida no projeto.

2.2 Arquitetura

A arquitetura considerada para a plataforma foi baseada em microserviços, garantindo escalabilidade, flexibilidade e resiliência na integração, monitoramento e orquestração dos Recursos Energéticos Distribuídos (DERs), permitindo uma adaptação eficiente às demandas dinâmicas do sistema elétrico de Fernando de Noronha, sendo a mesma composta pelos componentes descritos a seguir.

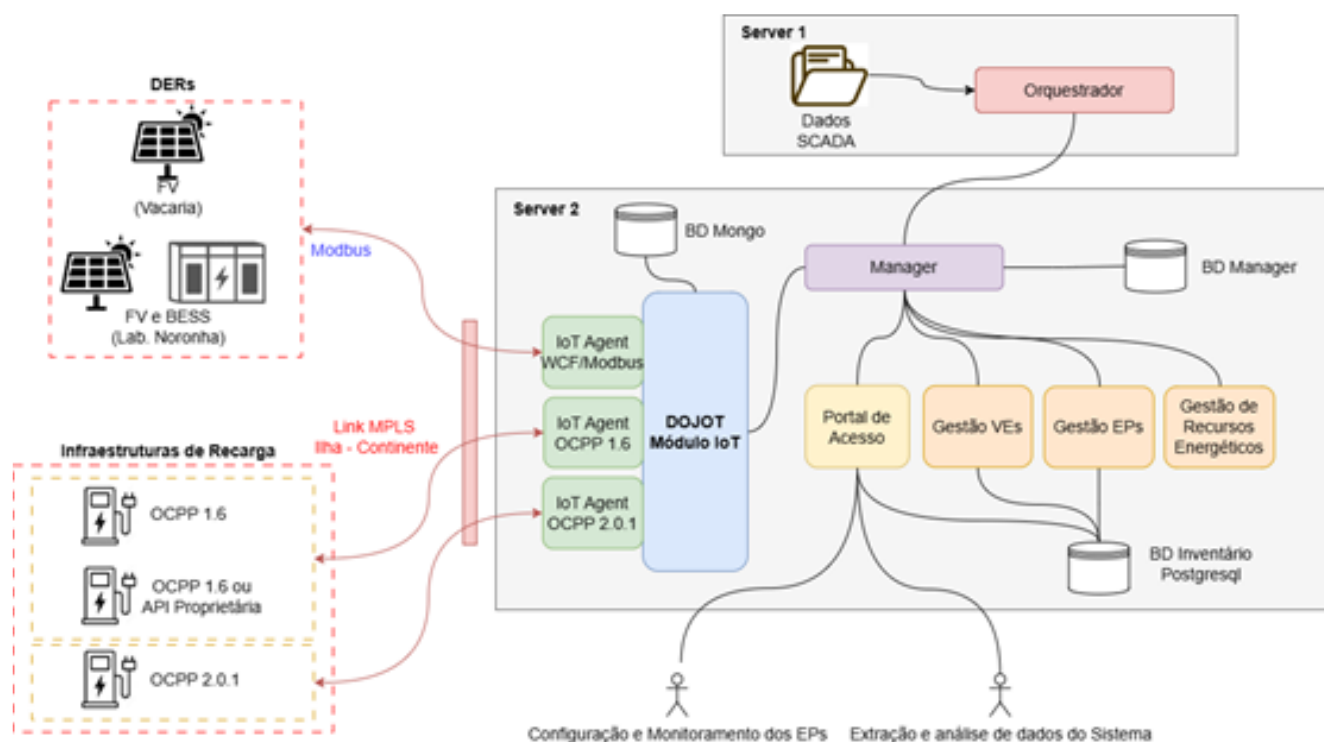


Figura 1 - Componentes da solução

2.2.1 DOJOT

A DOJOT é uma plataforma open source, desenvolvida pelo CPqD, que simplifica a concepção de soluções e fomenta o ecossistema IoT, atendendo às necessidades específicas do contexto brasileiro. Com APIs (Interfaces de Progação de Plicações, do inglês, Application Programming Interface) abertas, ela desempenha o papel de habilitadora ao facilitar o acesso das aplicações IoT, gerenciar todo o ciclo de vida de dispositivos (planejamento, configuração e monitoramento) e armazenar de forma eficiente os dados coletados.

No projeto, a Plataforma utilizou a DOJOT como componente central para a integração dos Recursos Energéticos Distribuídos (DERs). Nessa integração, foram implementados agentes IoT, permitindo a comunicação com os eletropostos por meio dos protocolos OCPP 1.6 e 2.0.1, através da utilização de websocket, e com os recursos energéticos, como inversores e baterias, por meio do protocolo Modbus. Essa abordagem garantiu uma conectividade eficiente e padronizada, possibilitando o monitoramento e controle dos dispositivos em tempo real de forma robusta e escalável.

2.2.2 Gestão de EPs

Este módulo foi projetado com uma interface gráfica intuitiva, permitindo que os usuários configurem, gerenciem e monitorem EPs de maneira eficiente, abrangendo desde as estações de recarga até os conec-

tores individuais de cada um. Ele integra funcionalidades essenciais para garantir o controle e a operação otimizada desses equipamentos. Entre suas principais funções, destacam-se:

- **Cadastro do Local de Instalação de Estações de Recarga:** possibilita o registro dos locais físicos onde uma ou mais estações de recarga (EPs) estão instaladas, facilitando sua identificação e gerenciamento.
- **Cadastro do EP:** permite a inclusão detalhada dos dados de cada eletroposto, como tipo (convencional ou V2G), transformador de distribuição (TD) ao qual está conectado, número de fases, potência nominal e informações sobre a presença da funcionalidade Smart Charging, compatível com os protocolos OCPP 1.6 e 2.0.1.
- **Consulta dos EPs:** fornece uma interface gráfica para que os operadores possam visualizar o status em tempo real de cada EP, incluindo informações sobre comunicação, operação e disponibilidade, entre outros indicadores.
- **Dashboard:** apresenta gráficos e tabelas personalizadas geradas a partir dos dados coletados pela plataforma. Essas ferramentas permitem analisar curvas típicas de utilização dos EPs com diferentes granularidades temporais (15, 30 ou 60 minutos; diário; semanal; mensal), consolidando informações de operação acumuladas ou médias relacionadas à mobilidade elétrica.
- **Operação dos EPs:** engloba funcionalidades para gerenciar remotamente os eletropostos, incluindo a visualização de dados operacionais, o disparo de comandos (reiniciar, ligar/desligar, desbloquear, liberar/bloquear recarga), a alteração de variáveis de configuração e o processamento de informações das recargas realizadas.

Com essas funcionalidades, o módulo promove uma gestão centralizada e eficiente, garantindo o controle completo das operações dos EPs e oferecendo insights estratégicos para a tomada de decisões sobre a infraestrutura de recarga.

2.2.3 Gestão de Veículos Elétricos

Este módulo é responsável pela gestão dos veículos elétricos (VEs), sendo que qualquer pessoa de FN pode utilizar os EPs implementados no projeto para recarga de seus VEs através de cartões previamente autorizados e cadastrados na plataforma garantindo um controle eficiente dos dados associados a cada veículo e às chaves de autenticação via RFID utilizadas para autorizar recargas. Além disso, possibilita a criação de filtros baseados em veículos para enriquecer os dados exibidos nos dashboards, ampliando as análises sobre a mobilidade elétrica. As funcionalidades principais deste módulo incluem:

- **Cadastro de Veículo:** permite o registro e consulta de veículos elétricos monitorados pela plataforma, garantindo que todos os dados estejam organizados e atualizados.
- **Consulta:** disponibiliza uma interface gráfica intuitiva para visualizar os veículos cadastrados na plataforma, oferecendo acesso rápido e simplificado às informações.
- **Dashboard:** oferece filtros avançados para análise de dados, complementando as funcionalidades de gestão de recargas. O usuário pode selecionar o tipo de negócio em que os veículos estão sendo utilizados, além de consultar informações detalhadas associadas a cada veículo, como o identificador do cartão RFID vinculado, que está registrado nos CDRs (Charging Data Records).

Com essas funcionalidades, o módulo assegura uma gestão completa dos veículos, otimizando o monitoramento e permitindo insights detalhados sobre suas operações e perfil de recarga (horários, estado de carga das baterias dos veículos, local de recarga, eetc.), contribuindo para uma infraestrutura de mobilidade elétrica mais eficiente e personalizada.

2.2.4 Gestão de DERs

A integração com as baterias e inversores no projeto é realizada por meio de um gateway que estabelece a comunicação com esses sistemas de energia utilizando o protocolo ModBus TCP/IP. Após a conexão, o gateway executa um polling a cada 5 minutos para coleta de dados, assumindo a responsabilidade por esse controle de tempo. Os dados coletados são então transferidos via protocolo MQTTS para um IoT

Agent da DOJOT, que persiste essas informações em um banco de dados. Esse fluxo de dados permite que os operadores acessem informações consolidadas para a criação de dashboards em intervalos de 15, 30 e 60 minutos, adaptados às necessidades de análise.

As principais funcionalidades deste componente incluem:

- **Cadastro do Sistema Energético:** permite o registro completo de instalações de inversores e sistemas BESS, incluindo informações como nome, endereço, localização georreferenciada, transformador conectado, potência nominal, tensão, número de fases e tipo de conexão (delta ou estrela). Esses dados estruturados são fundamentais para a gestão eficiente do sistema.
- **Dashboard:** oferece gráficos e tabelas personalizáveis gerados a partir dos dados coletados, com o objetivo de fornecer curvas típicas de operação dos sistemas energéticos em diferentes granularidades temporais (5, 15, 30 ou 60 minutos; diário; semanal; mensal). As análises podem ser exibidas de forma acumulada ou como médias, auxiliando na avaliação do desempenho dos DERs.
- **Operação:** apresenta uma interface de gestão que permite monitorar o status e funcionamento dos sistemas energéticos em tempo real. Entre as funcionalidades, destacam-se o acompanhamento de medições instantâneas (potências, tensões, correntes, estado de carga, etc.), a visualização de alarmes de segurança e operação, além do gerenciamento de eventos críticos.

Com essa integração robusta e ferramentas avançadas, o componente viabiliza o monitoramento e a operação eficientes dos sistemas energéticos, garantindo a confiabilidade e a qualidade da infraestrutura de mobilidade elétrica.

2.2.5 Manager

Compreende o módulo que implementa o Workflow responsável por gerenciar cada um dos processos. Esse componente gerencia os fluxos de solicitações entre os demais componentes, tornando os processos de requisições de interações mais claros e rastreáveis. Além disso, os processos têm um ponto central de comunicação, o que facilita adicionar ou remover componentes na solução.

2.2.6 Módulo Interface Scada

Este módulo é responsável pela aquisição e processamento dos dados dos elementos da rede de distribuição, como religadores, e pela leitura de informações relacionadas às medições de inversores e baterias. A obtenção de dados ocorre por meio da leitura dos arquivos exportados automaticamente pelo sistema SCADA da Neoenergia a cada 24 horas, garantindo que os dados sejam atualizados diariamente para subsidiar o monitoramento e a operação dos equipamentos conectados à rede de distribuição de FN. A seguir, estão detalhados os dados obtidos:

- **Disjuntor do Barramento MT:** correntes por fase (A), tensões por fase, potências ativa e reativa totais.
- **Religadores de Cada Alimentador:** correntes por fase.

Os dados coletados são organizados de acordo com uma nomenclatura previamente acordada com a equipe da Neoenergia, facilitando a identificação e a utilização das informações para análises e ações operacionais. Este módulo assegura que todas as medições e estados operacionais relevantes estejam disponíveis para uma gestão eficiente dos REDs.

2.2.7 Orquestrador

Cenários em que ocorram situações como: (i) recarga simultânea de VEs em horários de maior demanda; (ii) inserção de energia pelos sistemas FVs em períodos que possam proporcionar fluxos reversos de potência ativa na rede; e (iii) carga e/ou descarga do sistema de armazenamento (BESS, do inglês, Battery Energy Storage System) em períodos potencialmente inadequados, podem resultar em impactos significativos à QEE da rede de distribuição, tornando-se um fator inibidor à implementação massiva de infraestrutura de EPs ou DERs necessários para atender a demanda de recarga na ilha.

Assim, foi desenvolvido no projeto um componente para a Orquestração de Eletropostos e Recursos Energéticos Distribuídos, aqui referenciado simplesmente como “Orquestrador”, que coordena as operações

dos EPs instalados no projeto, atuando na modulação da potência ativa de recarga dos VEs, e na coordenação do ciclo de carga e descarga da bateria. Desta forma, buscou-se com a atuação do orquestrador uma operação dos EPs e BESS mais sintonizado com a produção dos sistemas FVs e o estado da rede elétrica, proporcionando a manutenção dos níveis de tensão nos consumidores próximos às instalações nos períodos de recarga de VEs, redução do fluxo de potência reversa proporcionado pelos instantes de alta geração FV e baixa demanda (que pode impactar no aumento da magnitude de tensão nos consumidores), minimização das perdas técnicas com a redução do carregamento das linhas da rede de distribuição e, conseqüentemente, na redução da exportação de energia da Subestação de distribuição, constituída de geradores à diesel, implicando na redução do consumo de óleo diesel, e conseqüentemente na diminuição da emissão de CO₂.

Assim, foi implementado o fluxograma preliminar o algoritmo de orquestração de DERs apresentado na figura a seguir.

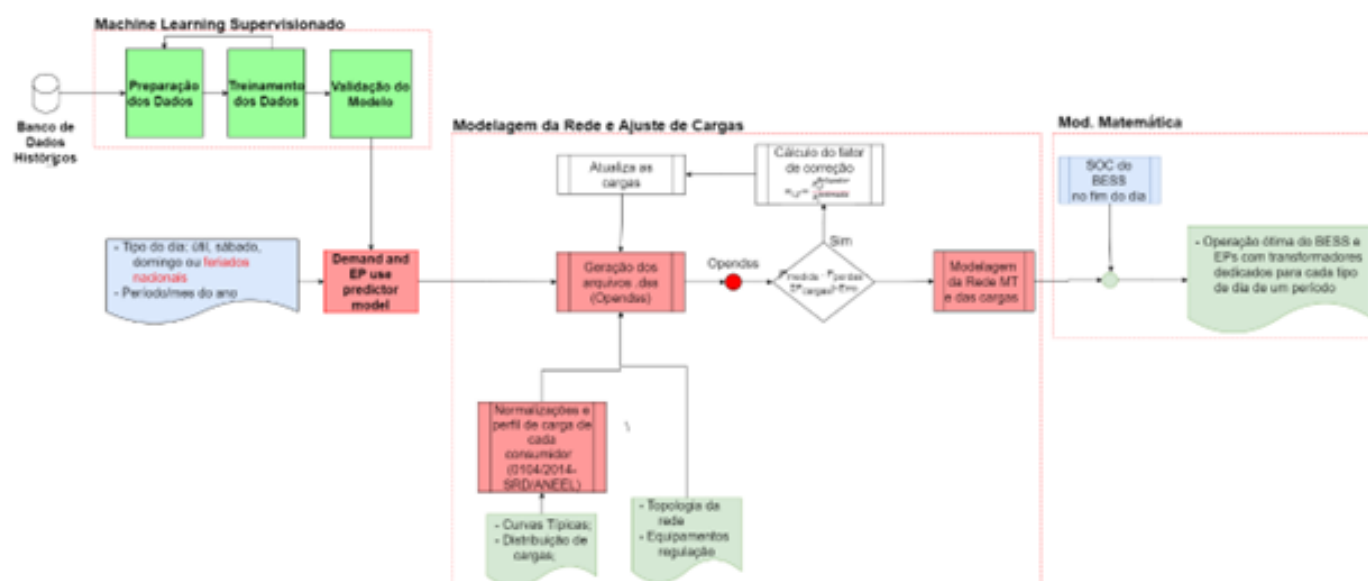


Figura 2 - Fluxograma Básico Preliminar do Algoritmo do Orquestrador

O fluxograma implementado, é constituído, basicamente dos seguintes blocos:

- **Modelo Preditivo Supervisionado:** utiliza dados históricos do SCADA e da Plataforma de Gestão de Mobilidade e DERs para estimar a demanda em cada alimentador da rede e o perfil de utilização de cada EP.
- o **Agrupamento dos dados:** filtragem dos dados do SCADA e agrupamento dos mesmos de acordo com o tipo do dia (útil, sábado ou domingo), uma vez que, a variação da demanda pode estar relacionada ao dia. Sendo realizado também a filtragem de dados incoerentes ou atípicos;
- o **Divisão dos dados:** validação do percentual de dados para cada etapa do Machine Learning (treinamento, validação e testes);
- o **Modelo Preditivo de Demanda:** Realiza a previsão de carga estimando o despacho energético em cada alimentador para um determinado período futuro de curto prazo (um dia, três dias ou uma semana), seu resultado é essencial para que o Modelo Matemático defina a operação ótima dos BESS e perfil de recarga de cada EP para o período.



Figura 3 – Fluxo Preliminar do Modelo de Predição de Carga

- **Modelagem da Rede:** A modelagem da rede foi implementada considerando a utilização dos dados do Banco de Dados Geográficos da Distribuição (BDGD), que constitui a base principal do Sistema de Informação Geográfica Regulatório (SIG-R). Para tanto, foram considerados dados relacionados a subestações, barras de média tensão (MT), transformadores de distribuição, Reguladores de Tensão, Banco de Capacitores ou outros ativos presentes na rede, tipologia de curvas, cargas de baixa tensão (BT) e média tensão (MT), além de informações técnicas sobre as redes primárias e secundárias, entre outros aspectos relevantes;
- **Ajuste das Cargas:** As cargas dos transformadores em uma barra específica são determinadas com base nas curvas típicas das Unidades Consumidoras (UCs) a elas conectadas. No entanto, essa estimativa não considera perdas não técnicas nem eventuais variações no consumo de cada carga, fatores que podem impactar significativamente os resultados do fluxo de potência e, consequentemente, a tomada de decisões sobre a atuação nos EPs e BESS. Para mitigar esses impactos, foi necessário ajustar as cargas com base na previsão de demanda dos alimentadores fornecida pelo Modelo Preditivo, conforme o fluxograma apresentado na Figura 4.

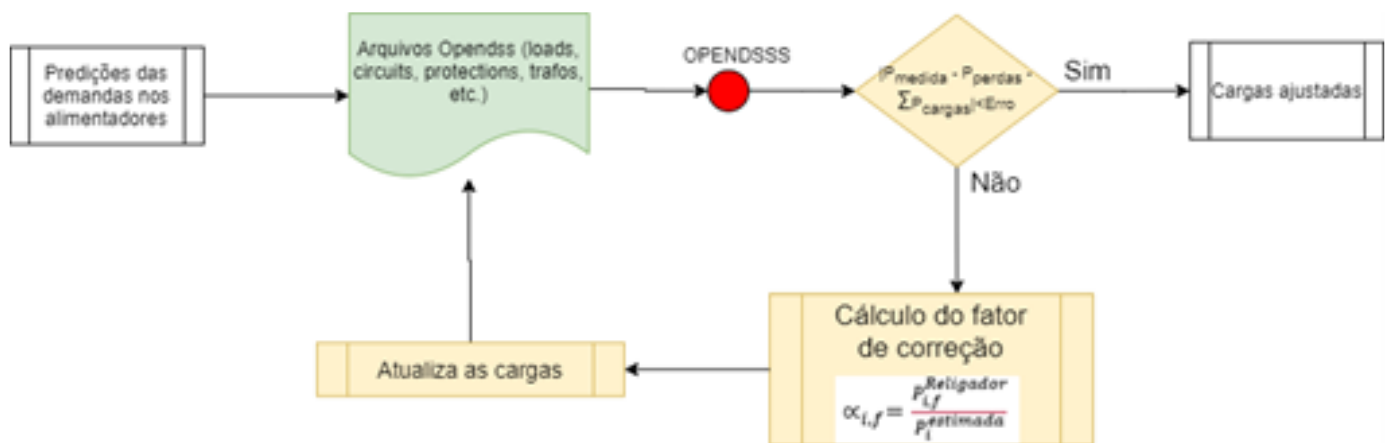


Figura 4 - Fluxograma do Ajuste de Cargas

- **Operação Ótima:** A implementação da Operação Ótima considerou uma Modelagem Matemática de Programação Linear, destacando-se por suas vantagens, a maior confiabilidade e precisão na tomada de decisão, além da flexibilidade para incluir diferentes restrições (MADUREIRA, 2017). A operação ótima de DERs é um problema altamente complexo, que envolve diversos requisitos técnicos a serem atendidos, como os limites mínimos e máximos do estado de carga (SOC) de cada bateria, fluxo de potência e corrente, limites operacionais da rede de distribuição, variação da potência de recarga de veículos elétricos (Smart Charging), estado da rede, entre outros (TANIGUCHI, 2019). Essas condições delimitam as estratégias possíveis para alcançar os objetivos propostos.

Foi definido como objetivo principal a utilização dos recursos energéticos, como os BESS e os EPs, de forma otimizada, buscando minimizar a energia exportada pela subestação e, assim, reduzir o consumo de diesel pela Usina Tubarão de Fernando de Noronha, enquanto se maximiza o uso de energia FV. Por sua vez, para os EPs, foram estabelecidas restrições que garantem que a fluxo de potência passante nos TDs aos quais estão conectados permaneça sempre abaixo da potência nominal desses ativos. Paralelamente, para o BESS foi considerado sua operação para aproveitar o excedente da geração FV, reduzindo a ocorrência de fluxos reversos, e fornecendo energia nos períodos de maior demanda da rede.

- **Otimização da Rede:** A quantidade de variáveis existentes é um dos principais itens que pode impactar no tempo de execução, convergência e demanda computacional de um modelo de PNL ou PL. Assim, o

Figura 6 – (a) Cadastro de EPs; (b) Gestão de Operação de Eps



Figura 7 – Dashboard com o gráfico da Energia média fornecida aos EPs dos dias 12 a 22 de novembro de 2024

- **Gestão de VEs:** foram implementadas interfaces gráficas para o cadastro, consulta e customizar e visualizar gráficos referentes aos VEs da plataforma. As figuras a seguir apresentam algumas das interfaces implementadas.

Gestão de Veículos

Novo Veículo

Dados do Veículo

Modelo e Modelo: Renault ZOE 400 kWh

Ano fabricação: 2024

Ano modelo: 2024

Placa: [Campo vazio]

Tipos de registro: [Campo vazio]

Plano: [Campo vazio]

Modelos: [Campo vazio]

WEP: [Campo vazio]

Botões: Salvar, Cancelar

(a)

Gestão de Veículos

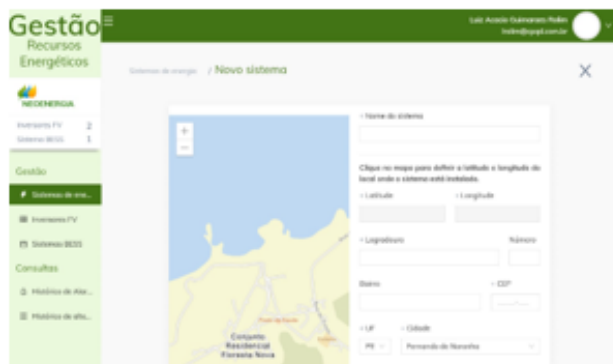
Veículos

Placa	Modelo/Modelo	Ano	Tipos de registro	Plano	WEP
RENOULT	RENOULT ZOE 400 kWh	2024/2024	Privado	Urbano	1
SPRINT	RENOULT ZOE 400 kWh	2024/2024	Privado	Urbano	1
SPRINT	RENOULT ZOE 400 kWh	2024/2024	Privado	Urbano	1
SPRINT	RENOULT ZOE 400 kWh	2024/2024	Privado	Urbano	1
SPRINT	RENOULT ZOE 400 kWh	2024/2024	Privado	Urbano	1
RENOULT	RENOULT ZOE 400 kWh	2024/2024	Privado	Urbano	1
RENOULT	RENOULT ZOE 400 kWh	2024/2024	Privado	Urbano	1
RENOULT	RENOULT ZOE 400 kWh	2024/2024	Privado	Urbano	1
RENOULT	RENOULT ZOE 400 kWh	2024/2024	Privado	Urbano	1
RENOULT	RENOULT ZOE 400 kWh	2024/2024	Privado	Urbano	1
RENOULT	RENOULT ZOE 400 kWh	2024/2024	Privado	Urbano	1

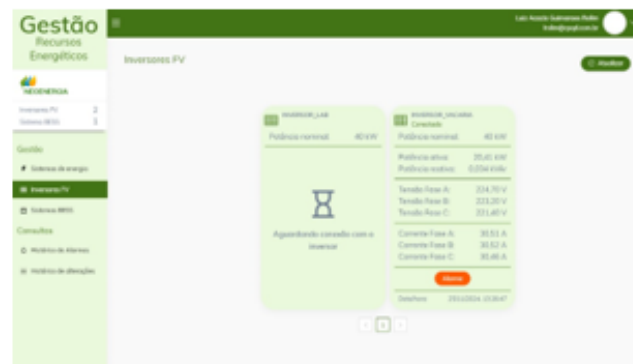
(b)

Figura 8 – (a) Cadastro de VEs; (b) Consulta de VEs

- **Gestão de DERs:** foram implementadas interfaces gráficas para o cadastro, consulta e operação adequada de cada DER. Além disso, foi considerado no Dashboard a possibilidade de customizar e visualizar gráficos referentes aos VEs da plataforma. As figuras a seguir apresentam algumas das interfaces implementadas.



(a)



(b)

Figura 9 – (a) Cadastro de um Sistema Energético; (b) Consulta e Operação de um Sistema Energético

2.4 Resultados do Orquestrador

Primeiramente, destaca-se o funcionamento adequado da modelagem e otimização da rede, sendo considerados todos os ativos da rede, status dos equipamentos (ligado/desligado, fechado/aberto, etc), consumidores (de baixa e média tensão) e tipologia de curvas. A figura a seguir apresenta ainda a topologia completa de FN antes e após a otimização da mesma, sendo reduzido de 499 barras para 88 barras.



(a) (b)

Figura 10 – (a) Rede Completa de FN; (b) Rede Otimizada de FN

Por sua vez, para a validação do Algoritmo de Operação Ótima, considerou-se a rede otimizada de FN de Noronha e os seguintes DERs que foram instalados ao longo projeto, conforme apresentado na Figura 11: o 1 sistema de Geração FV com potência de 50 kWp e 1 BESS de 200 kWh de capacidade e 100 kW de potência nominal;

o 1 sistema de Geração FV com potência de 50 kWp;

o 7 eletropostos convencionais de recarga trifásicos de 22 kWp;

o 2 Eletropostos convencionais de recarga monofásicos de 7 kWp;

o 2 Eletropostos V2G monofásicos de 7kWp.

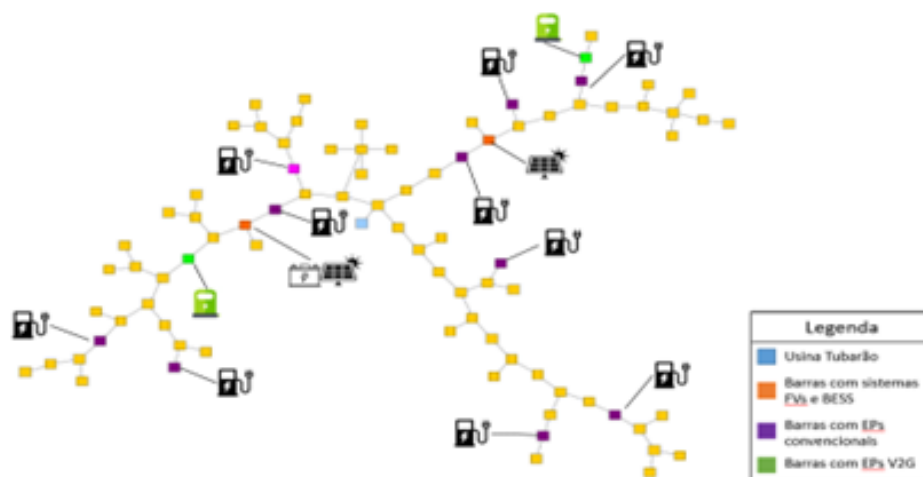


Figura 11 – Rede Otimizada de FN e alocação dos DERs

No dia considerado para esta análise, observou-se, primeiramente, o perfil de carga e descarga dos BESS (Figura 12), definido pelo orquestrador com o objetivo de realizar a recarga no período de geração fotovoltaica (FV) e a posterior descarga no período noturno. Essa estratégia buscou minimizar a ocorrência de fluxo de potência ativa reversa no Ponto de Conexão Comum do sistema FV, bem como reduzir a importação de energia da Subestação de Distribuição (SED) durante o período de maior demanda.



Fig. 12 – Perfil de carga e descarga dos BESS

Em relação aos EPs convencionais, o algoritmo de otimização indicou uma redução da potência nominal dos equipamentos (Peletroposto) nos instantes de maior demanda (Sdemanda) em cada circuito. Esse ajuste foi implementado para limitar a potência total (Stotal) no circuito secundário, mantendo-a, sempre que possível, inferior ou igual à potência nominal do transformador de distribuição ao longo de todo o período, visando preservar o equipamento, além de prevenir possíveis ocorrências de quedas abruptas de tensão. As figuras a seguir ilustram dois exemplos dessa operação.

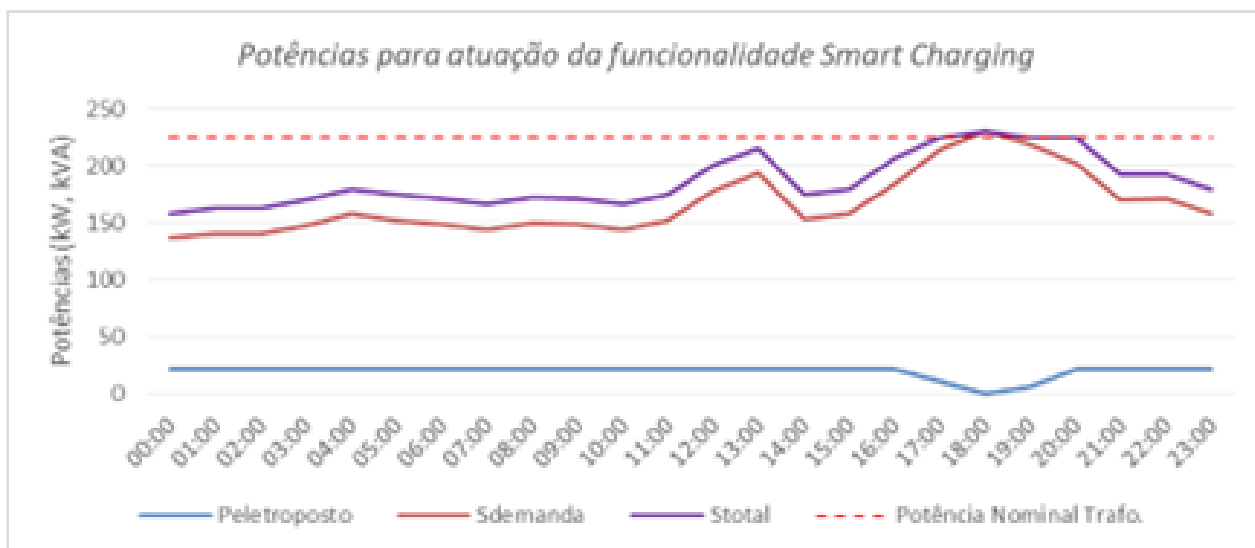


Figura 13 – Perfil de carga e descarga dos BESS

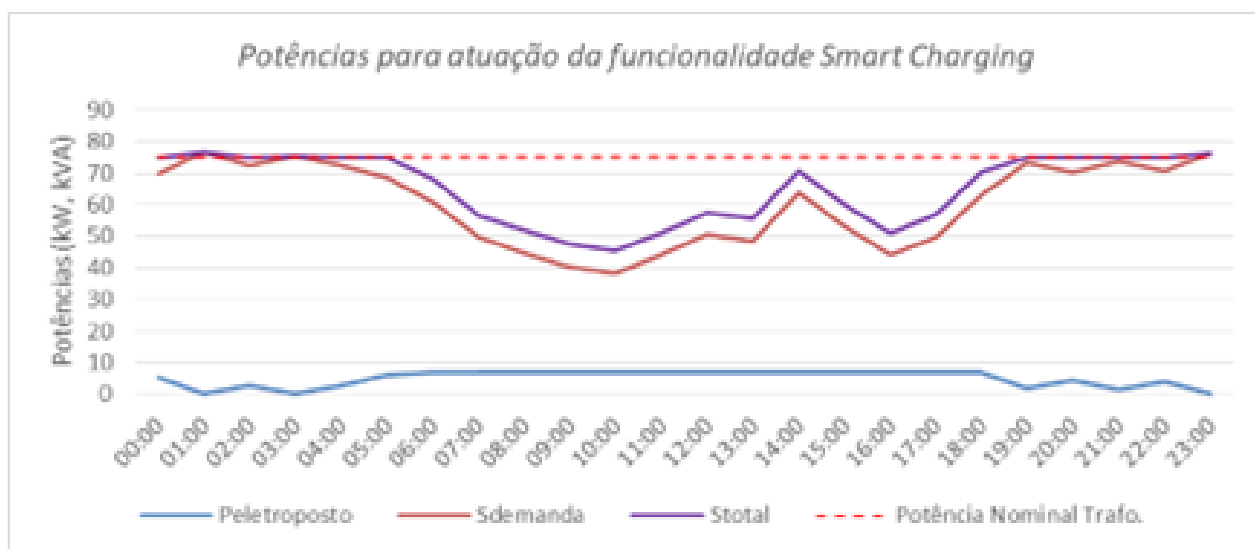


Figura 14 – Perfil das Potências para um dos EPs convencionais de 22kW

Finalmente, no caso dos EPs com funcionalidade V2G (Figura 14), observou-se uma redução da potência dos equipamentos para garantir que a potência total no circuito mantivesse inferior ou igual à nominal do transformador. Esse comportamento é semelhante ao dos EPs convencionais; no entanto, nesses casos, verifica-se a descarga dos VEs ($Peletroposto < 0$) nos momentos em que as potências demandadas pelas cargas excedem a potência nominal do transformador de distribuição.

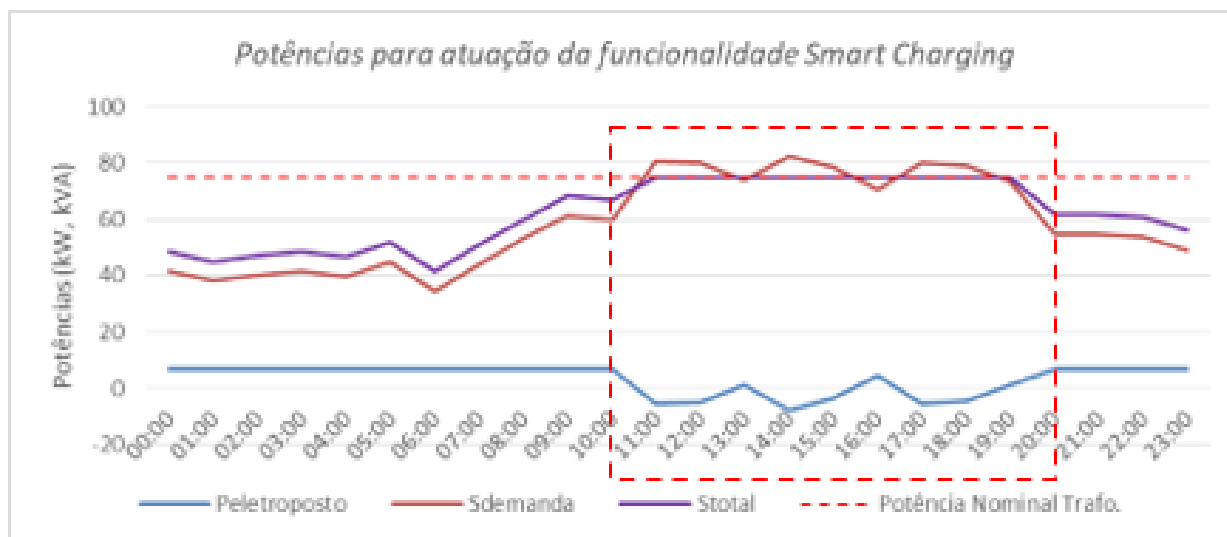


Figura 15 – Perfil das Potências para um dos EPs V2G de 7kW

3. Conclusão

O projeto “Aplicações Ambientalmente Sustentáveis da Mobilidade Elétrica para a Ilha de Fernando de Noronha – PD-00043-0087/2019” avaliou soluções inovadoras e sustentáveis para os desafios da transição energética em Fernando de Noronha (FN). Por meio da integração entre sistemas de geração FV, SAE e EPS - convencionais e com funcionalidade V2G - foi possível desenvolver e validar a Plataforma de Monitoramento, Gestão, Integração e Orquestração de DERs que promove tanto a sustentabilidade ambiental quanto a eficiência energética, sem comprometer a QEE da rede de distribuição de FN.

A Plataforma de Monitoramento, Gestão, Integração e Orquestração de DERs desenvolvida no projeto revelou-se um elemento essencial para garantir a operação eficiente e sustentável dos EPs, DERs e VEs. Essa solução possibilitou a comunicação e o controle em tempo real dos dispositivos conectados, incluindo a definição das potências ideais de recarga para os EPs, a gestão inteligente das cargas e descargas do SAE e a integração da funcionalidade V2G.

Destaca-se que a estratégia adotada pelo algoritmo da Plataforma de priorizar a recarga do BESS durante os períodos de maior geração FV, acompanhada da descarga das mesmas no período noturno, minimizará a importação de energia da subestação e reduzirá a ocorrência de fluxos de potência reversa, otimizando o desempenho do sistema elétrico da ilha. Além disso, os perfis de recarga definidos pelo Orquestrador trarão impactos positivos significativos na preservação dos ativos da rede elétrica, como os TDs, ao evitar sobrecargas nos seus circuitos. Finalmente, no caso dos EPs V2G, a funcionalidade de descarga dos VEs durante picos de demanda revelou-se uma estratégia interessante para garantir a estabilidade da rede, transformando os VEs em recursos ativos no sistema. Essa abordagem destaca-se como uma aplicação prática e inovadora do conceito Vehicle-to-Grid, que agrega valor ao ecossistema elétrico enquanto amplia o papel dos consumidores como protagonistas na transição energética.

Assim, a relevância deste projeto para o setor elétrico vai além de FN, servindo como um marco para a aplicação prática de tecnologias emergentes, como o smart charging e o V2G, e demonstrando a viabilidade técnica de integração eficiente de DERs à rede de distribuição. A abordagem desenvolvida pode ser aplicada em outras regiões com alta penetração de GD e ME, sobretudo onde a infraestrutura elétrica é limitada

ou enfrenta desafios de confiabilidade e qualidade da energia. Além disso, a Plataforma e a metodologia de orquestração e otimização de DERs foram implementadas para serem escaláveis e adaptáveis a diversos contextos.

Do ponto de vista ambiental, o projeto reforça o compromisso com o objetivo “Noronha Carbono Zero”, da Lei Estadual 16.810/2020, ao incentivar a mobilidade elétrica sustentável e reduzir a pegada de carbono da ilha. A substituição progressiva de veículos à combustão por veículos elétricos, alinhada à utilização de recursos renováveis e armazenamento de energia, posiciona FN como um modelo pioneiro no Brasil e na América Latina.

Por fim, é imprescindível reconhecer a importância do apoio e do financiamento da Neoenergia para a realização deste projeto pioneiro. A dedicação e o compromisso de toda a equipe envolvida não apenas permitiram o desenvolvimento de soluções tecnológicas avançadas, mas também criaram uma base sólida para futuras iniciativas de inovação no setor elétrico.

4. Referências bibliográficas

ALEPE, “Proibição de veículos a combustão em Noronha é adiada”, 12 de junho de 2023. Disponível em: < <https://www.alepe.pe.gov.br/2023/06/12/plenario-aprova-adiamento-da-proibicao-de-veiculos-a-combustao-em-fernando-de-noronha/> >. Acessado: 26 de nov de 2024.

LEIS ESTADUAIS, “LEI Nº 16.810, DE 7 DE JANEIRO DE 2020. - Veda o ingresso, circulação e permanência de veículos a combustão, no âmbito do Distrito Estadual de Fernando de Noronha.”, 19 de janeiro de 2022. Disponível em: < <https://leisestaduais.com.br/pe/lei-ordinaria-n-16810-2020-pernambuco-veda-o-ingresso-circulacao-e-permanencia-de-veiculos-a-combustao-no-ambito-do-distrito-estadual-de-fernando-de-noronha> >. Acessado: 26 de nov de 2024

MADUREIRA, T.S. “Gerenciamento Ótimo de Energia em Plantas Virtuais de Geração Através de Programação Linear Inteira Mista”. Dissertação de Mestrado apresentado à Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade de Campinas. 2017.

PINTO, D.R. “Análise dos desafios de implementação e impactos técnicos do modo "vehicle-to-grid" em sistemas de distribuição de energia elétrica”. Dissertação de Mestrado apresentado à Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade de Campinas. 2020.

TANIGUCHI, F.K. “Gerenciamento ótimo da operação dos inversores dos sistemas fotovoltaicos para o controle da magnitude de tensão de um sistema de distribuição de energia elétrica”. Dissertação de Mestrado apresentado à Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade de Campinas. 2019.