


**ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DO SAGE PARA SUPERVISÃO DE SISTEMA MICROREDE
CC HÍBRIDO EM ALIMENTAÇÃO DE SERVIÇOS AUXILIARES DE CORRENTE
CONTÍNUA**

**ANALYSIS OF THE USE OF SAGE FOR SUPERVISION OF A HYBRID DC MICROGRID
SYSTEM IN AUXILIARY DC POWER SUPPLY**

**ANÁLISIS DEL USO DE SAGE PARA LA SUPERVISIÓN DE UN SISTEMA DE
MICRORRED CC HÍBRIDO EN LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN CC AUXILIAR**

 <https://doi.org/10.56238/arev7n11-142>

Data de submissão: 14/10/2025

Data de publicação: 14/11/2025

José Francisco Resende da Silva

Doutor

Instituição: Universidade Estadual Paulista (UNESP)

E-mail: jose.resende@unesp.br

André Vinícius Miranda Ribeiro

Graduando

Instituição: Universidade Estadual Paulista (UNESP)

E-mail: andre.vinicius@unesp.br

Enzo Nozaki Cardoso

Graduando

Instituição: Universidade Estadual Paulista (UNESP)

E-mail: nozaki.cardoso@unesp.br

Arthur Henrique Guerchfeld Domingues

Graduando

Instituição: Universidade Estadual Paulista (UNESP)

E-mail: arthur.henrique@unesp.br

Edson dos Passos

Graduando

Instituição: Universidade Estadual Paulista (UNESP)

E-mail: edson.passos@unesp.br

Felipe Ferreira Alves Costa

Graduando

Instituição: Universidade Estadual Paulista (UNESP)

E-mail: felipe.f.costa@unesp.br

Eder Luiz Mello

Graduado

Instituição: Faculdade do Centro Leste (UCL)

E-mail: eder@tracel.com.br

Hugo Villela de Miranda

Mestre

Instituição: Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

E-mail: hugo.miranda@tracel.com.br

RESUMO

Este estudo analisa a aplicação do SAGE (Sistema Aberto de Gerenciamento de Energia) em um sistema de alimentação híbrida dentro de uma microrede CC conectada ao Sistema Interligado Nacional (SIN) com a energia fotovoltaica como terceira fonte de energia auxiliar. O monitoramento de usinas elétricas é crucial para garantir a confiabilidade e funcionalidade do sistema elétrico. O SAGE se destaca entre os softwares de monitoramento e controle por sua flexibilidade e extensibilidade. Compatível com uma plataforma computacional descentralizada, ele melhora a segurança e o desempenho por meio de sistemas complementares. O projeto demonstrou reduções significativas nos custos de energia e destacou a eficácia do SAGE na gestão de serviços auxiliares de 125V CC em subestações.

Palavras-chave: Microrede. SAGE. SCADA. EMS. Gestão de Serviços Auxiliares.

ABSTRACT

This study analyzes the application of SAGE (Open Energy Management System) in a hybrid load feeding system within a DC microgrid connected to the National Interconnected System (NIS) as a photovoltaic auxiliary energy source. Monitoring power plants is crucial for ensuring electrical system reliability and functionality. SAGE stands out among monitoring and control software for its flexibility and extensibility. Compatible with a decentralized computational platform, it enhances safety and performance through complementary systems. The project proved significant energy cost reductions and highlighted the effectiveness of SAGE in managing 125V DC auxiliary services in substations.

Keywords: Microgrids. SAGE. SCADA. SEM. Management of Auxiliary Services.

RESUMEN

Este estudio analiza la aplicación de SAGE (Sistema Abierto de Gestión de Energía) en un sistema híbrido de suministro eléctrico dentro de una microrred de CC conectada al Sistema Nacional Interconectado (SIN), con energía fotovoltaica como tercera fuente de energía auxiliar. La monitorización de las centrales eléctricas es crucial para garantizar la fiabilidad y el funcionamiento del sistema eléctrico. SAGE destaca entre los programas de monitorización y control por su flexibilidad y extensibilidad. Compatible con una plataforma informática descentralizada, mejora la seguridad y el rendimiento mediante sistemas complementarios. El proyecto demostró reducciones significativas en los costes energéticos y puso de manifiesto la eficacia de SAGE en la gestión de servicios auxiliares de 125 V CC en subestaciones.

Palabras clave: Microrred. SAGE. SCADA. EMS. Gestión de Servicios Auxiliares.

1 INTRODUÇÃO

Grande parte das empresas do setor elétrico brasileiro ainda utilizam de ferramentas tecnológicas datadas de duas ou mais décadas, o que prejudica muito a competitividade de com outras empresas e influência na impraticidade do trabalho. A funcionalidade de um sistema de controle foi de um sistema de aquisição de dados (SCADA - Supervisory Control and Data Acquisition) para sistemas avançados e com grande demanda de dados e aplicações (EMS – Energy Management System). Um grande problema dessa evolução rápida e drástica foi a falta de hardwares que fossem capazes de suportar grandes demandas, o que seria custoso e por isso para as empresas muitas vezes não era válido a utilização destes sistemas mais avançados.

Tendo em vista esse problema, sistemas distribuídos de arquitetura aberta se tornam muito vantajosos para as empresas e pesquisadores, pois idealmente essa arquitetura serviria para qualquer hardware com o mínimo de potência até grandes computadores.

O SAGE (Sistema Aberto de Gerenciamento de Energia) é uma plataforma de supervisão controle e aquisição de dados (SCADA) e gerenciamento de sistemas de energia (EMS) desenvolvida para sistemas de energia híbridos, incluindo microrredes de corrente contínua (CC) híbridas. Ele oferece uma plataforma com ampla aplicabilidade para gerenciar eficientemente a operação em microrredes complexas, garantindo um fornecimento confiável e sustentável de energia. O SAGE atualmente é o sistema SCADA/EMS mais utilizado no Brasil, com mais de 2000 instalações em todo o país (Eletrobrás, 2024)

De acordo com (PEREIRA, et al. 2018) o termo sistema aberto consiste em quatro características principais: Portabilidade, expansibilidade, modularidade e interconectividade. A Portabilidade envolve implementar a mesma funcionalidade em diferentes plataformas de hardware. Expansibilidade refere-se à capacidade de expansão tanto em hardware quanto em software. Modularidade implica em dividir as funções em módulos de software com interfaces definidas. Interconectividade é a capacidade de conectar diferentes plataformas de hardware por meio de uma rede padronizada.

Considerando que o sistema citado é eficiente para sistemas de energia híbrido, o software foi utilizado em um projeto proposto pela empresa Tracel Ltda, tendo como fundação de apoio a Fundação de Ensino, Pesquisa e Extensão de Ilha Solteira – FEPISA, interveniente da Universidade Estadual Paulista – UNESP, e em cooperação técnica dos pesquisadores da Equatorial intitulado “Desenvolvimento de equipamento para microrrede cc e ca para alimentação de cargas críticas em subestações através de sistema híbrido com fontes renováveis”.

2 OBJETIVO

O artigo visa entender e aclarar a utilização e viabilidade do SAGE em um projeto já realizado em uma sala de Operação local e remota, localizada em São Luís-MA, que consistiu em inserir uma nova fonte de alimentação em subestações já existentes como alternativa de terceira fonte de energia para os serviços auxiliarem de corrente contínua (CC) em 125Vcc.

A terceira fonte de energia escolhida para o sistema foi a energia fotovoltaica. Para que o sistema fotovoltaico opere de forma correta e satisfatória na alimentação dos serviços auxiliares de CC utilizou-se do Sistema Aberto de Gerenciamento de Energia (SAGE).

O produto, Sistema microrede CC com a terceira fonte de energia, desenvolvido visa a aplicação em quaisquer subestações com serviços auxiliares de corrente contínua de 125Vcc, tendo sido essa a principal motivação da proposta do projeto, assim como em outras subestações localizadas em áreas remotas onde não há transformação própria e que ficam distantes de outras fontes de alimentação.

3 METODOLOGIA

As principais fontes de informações utilizadas para o projeto mencionado neste artigo foram as dissertações de mestrado de Daniel Barbosa sobre “Desenvolvimento dos Conversores de Potência para Criação de uma Microrede Trifásica Baseada em Energias Renováveis” (Babosa, 2021) e de Lucas Ginez nomeada “Modelo Matemático para o Dimensionamento ótimo de uma Microrede para suprir a demanda de serviços auxiliares de Subestações em período de falhas” (Oliveira, 2022).

A primeira dissertação aborda de maneira geral os conceitos do microrede, alguns de seus componentes, possíveis métodos de controle, testes e análises realizados. A microrede traz consigo a utilização das fontes de micro geração, podendo ser renovável ou de forma híbrida e um tipo de armazenamento de energia, sendo comum o uso de baterias. Com o crescimento da produção descentralizada de energia, proveniente do desenvolvimento das fontes renováveis como é o caso da energia solar e eólica, viu-se a oportunidade de implementar um sistema de automação e controle que possibilitasse uma maior eficiência por parte do distribuidor de energia.

O Sistema aberto de gerenciamento de energia (SAGE) faz parte dos EMS (Energy Management system) e contém funções de um sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition). O sistema primordialmente implementa as funções de gerenciamento de energia em centros de controle e com sua alta compatibilidade e versatilidade o tornam ótimo para projetos híbridos e até mesmo, como é o caso, de sistemas de terceira fonte de geração de energia.

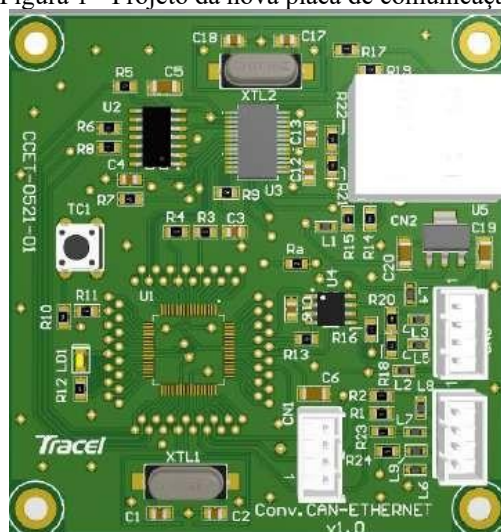
De acordo com a resolução normativa nº 756/2016, submódulo 2.3, da Aneel, os serviços auxiliares de corrente contínua (CC) para alimentação dos sistemas de proteção, supervisão e controle devem ter duas fontes de alimentação, sendo uma fonte externa e outra da própria subestação. Já em 3 de dezembro de 2019 a equipe técnica da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL e do Operador Nacional dos Sistemas Elétrico – ONS realizaram uma consulta pública através da Nota Técnica Nº 90/2019–SRT-SCT- SFE/ANEEL com objetivo de avaliar a inserção da terceira fonte de energia nos serviços auxiliar de corrente contínua (CC). Apenas através dessa consulta pública foi possível a realização do projeto e a utilização do SAGE como monitoramento da microrede CC.

Durante a realização do projeto foi verificado a necessidade do Sistema microrede cc comunicar com o Sistema Aberto de Gerenciamento de Energia, dessa forma, o sistema para ser instalado na subestação teria que ser supervisionado, local e remoto, através do SAGE.

O protocolo desenvolvido para o Sistema era o Ethernet TCP/IP-Transmission Control Protocol/Internet Protocol e o SAGE utiliza o protocolo Modbus TCP/IP no padrão IEC 61.850. O TCP/IP significa protocolo de controle de transmissão/protocolo da internet, ou seja, são um conjunto de regras padronizadas que permite a comunicação industrial com a rede (Costa, 2022). A diferença entre o sistema Ethernet e o Modbus baseia-se essencialmente em suas estruturas e funcionalidades. Enquanto o protocolo Ethernet é uma tecnologia de rede abrangente e mais completa, o Modbus é um protocolo mais específico desenvolvido para uso em sistemas de controle industrial, sendo mais benéfico sua utilização em aplicações que não exigem a complexidade e as funcionalidades avançadas que o ethernet pode suportar (Roisenberg, 2024).

Com base nisso, a Tracel desenvolveu e fabricou uma nova placa de comunicação do Sistema microrede CC no protocolo Modbus TCP/IP. Esta nova placa recebe os dados via CAN-Controller Area Network dos subsistemas conforme Figura, converte para o padrão Modbus/TCP IP e garante o fluxo e pacote de dados contínuo para o SAGE. Em um primeiro momento foi utilizado um conversor externo para validar a nova placa de comunicação. As Figuras 1 e 2 apresentam o projeto e a placa nova fabricada enquanto a figura 3 mostra a entrada do cabo de rede do microrede cc.

Figura 1 - Projeto da nova placa de comunicação



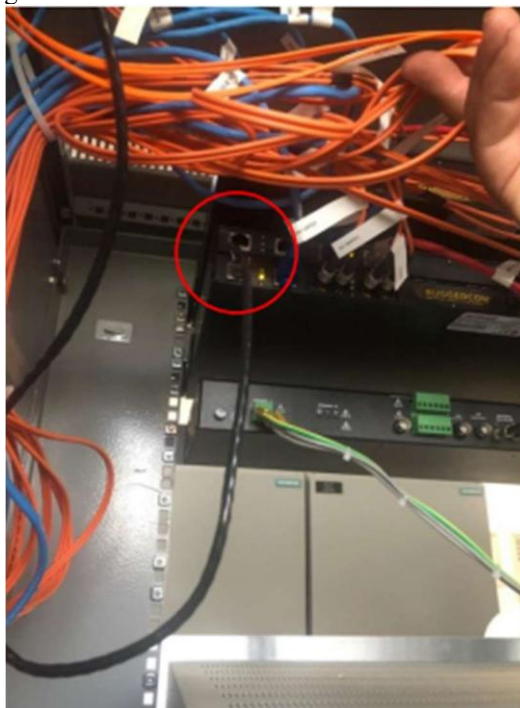
Fonte: autores, 2024.

Figura 2 - Nova placa de comunicação fabricada



Fonte: autores, 2024.

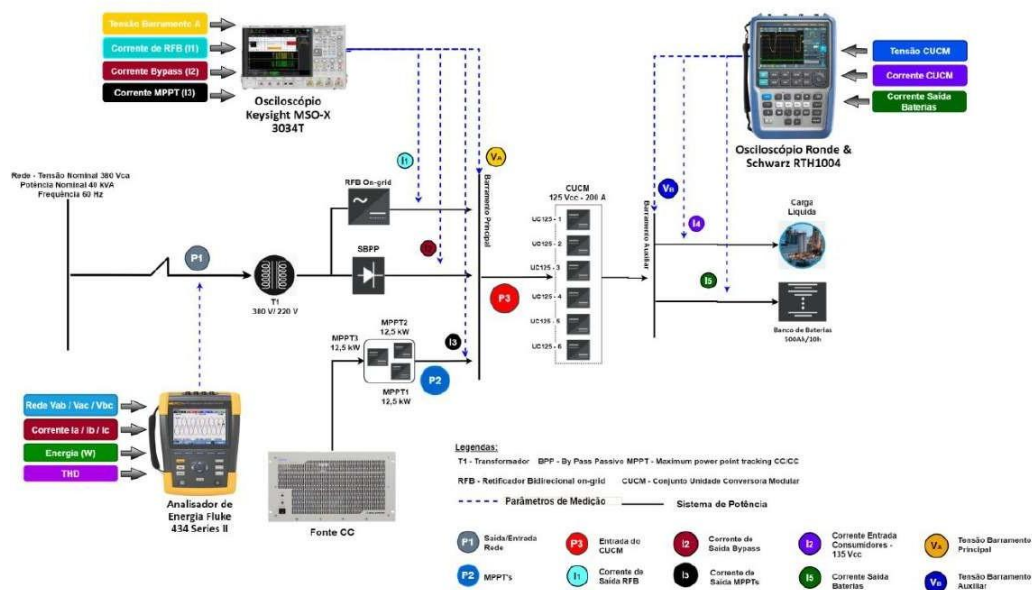
Figura 3 – Entrada do cabo de rede do Microrede CC



Fonte: Mello, 2022.

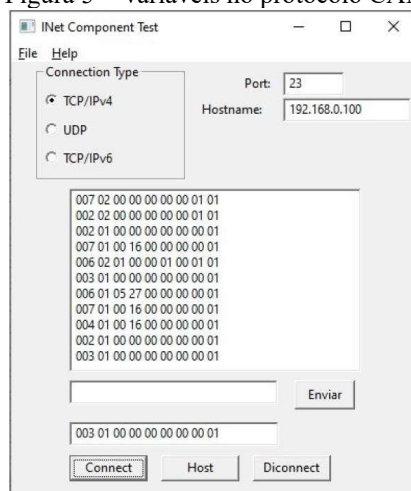
A Figura 5 apresenta as variáveis enviadas pela CAN interna dos subsistemas e comunicando com a nova placa de comunicação no padrão do protocolo IEC 61.850 conforme Figura 4. A Figura 6 apresenta o Sistema microrede CC operando com um consumo de aproximadamente 7kW nos serviços auxiliares (125Vcc). À medida que o sistema fotovoltaico, foi utilizado uma fonte CC para simular este sistema, inicia a sua geração a rede elétrica vai reduzindo o seu fornecimento até zerar. Parte da energia do sistema fotovoltaico é injetada/exportada para rede elétrica. À medida que o sistema fotovoltaico vai reduzindo sua geração a injeção/exportação para rede elétrica também vai reduzindo até iniciar o consumo da rede elétrica.

Figura 4 – Bancada de ensaios do Sistema microrede CC
Micro Rede CC - Modo Rede Conectada



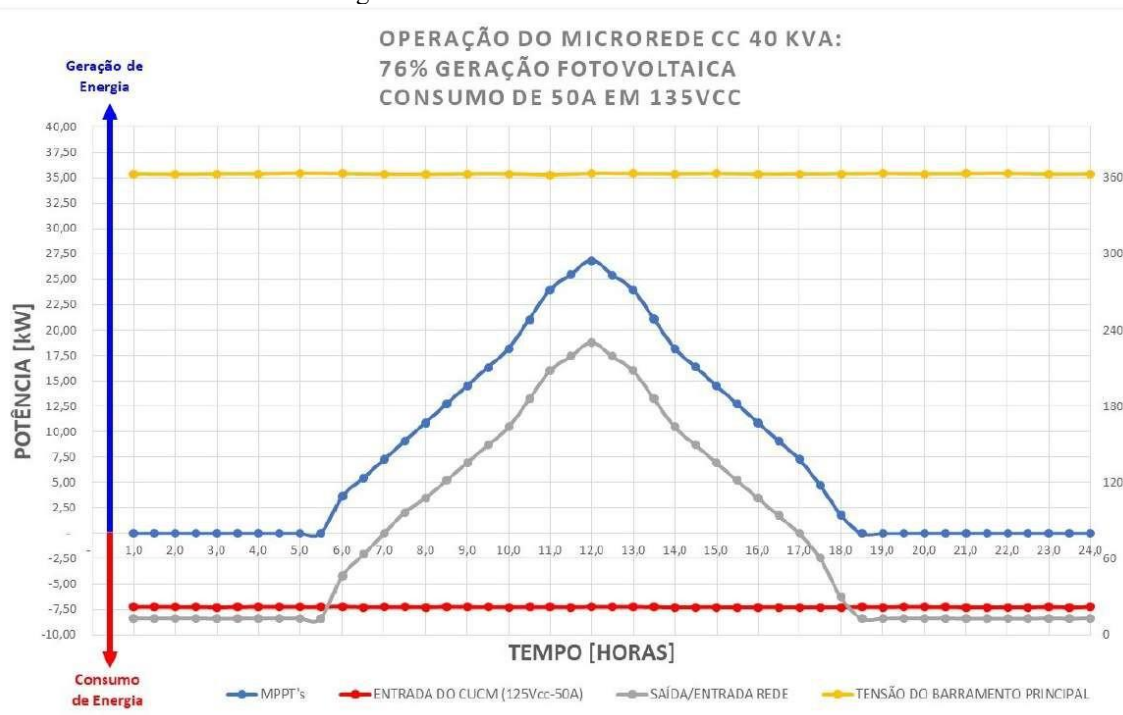
Fonte: autores, 2024.

Figura 5 – Variáveis no protocolo CAN



Fonte: autores, 2024.

Figura 6 - Ensaio do Sistema microrede CC



Fonte: autores, 2024.

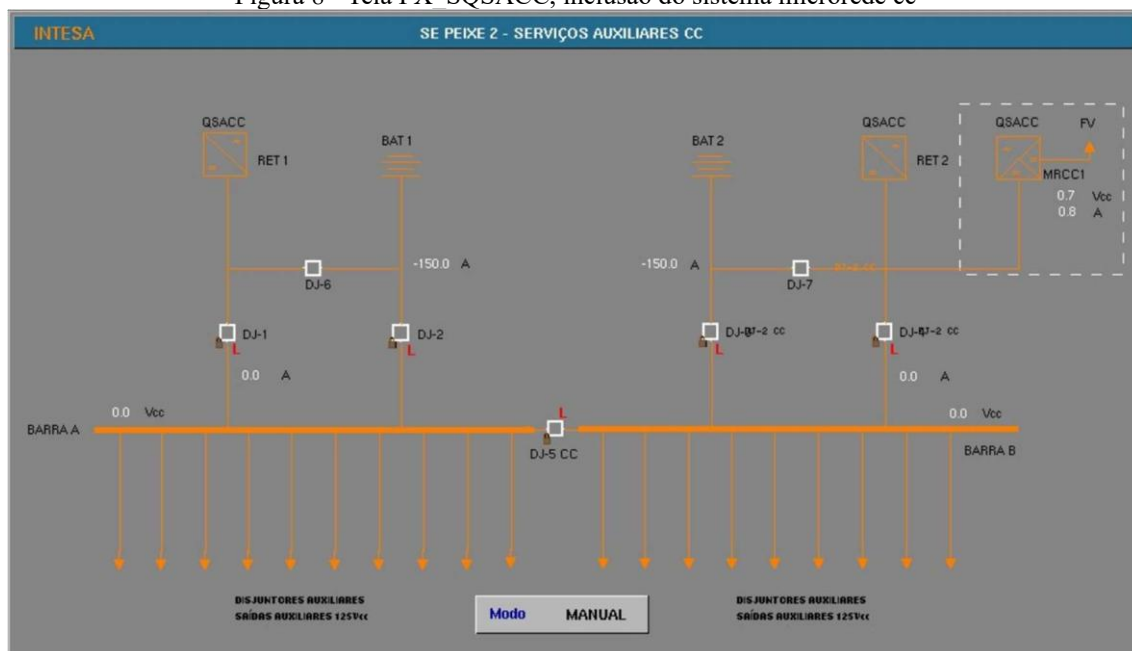
Em conjunto com os ensaios do Sistema microrede CC foi definido com os pesquisadores da Equatorial a lista de variáveis a serem enviadas para o SAGE pelo Sistema microrede CC. Além dos dados apresentados até agora e os sistemas estipulados no SAGE, parte nova base de dados com a inclusão do sistema microrede CC, assim como os alarmes e as telas implantados no SAGE, foram realizados pela empresa Guimarães Multisserviços engenharia LTDA, conforme figuras 8, 9, 10, 11 e 12.

Figura 7 - variáveis enviados pelo Sistema microrede CC para o SAGE

Nome	Tipo de dado	Status	Escravo	Faixa	Offset (baseado em 0)	
Barramento de Saída Energizado	Binário		1	Registrador holding	50/1	
Bateria Carregada	Binário		1	Registrador holding	54/0	
Bateria Carregando	Binário		1	Registrador holding	54/1	
Bateria Descarregando	Binário		1	Registrador holding	54/2	
Bateria em Nível Baixo	Binário		1	Registrador holding	54/3	
Bateria em Nível Crítico	Binário		1	Registrador holding	54/4	
Corrente de Bateria	Numérico		1	Registrador holding	8	
Corrente de Rede Fase A	Numérico		1	Registrador holding	3	
Corrente de Rede Fase B	Numérico		1	Registrador holding	4	
Corrente de Rede Fase C	Numérico		1	Registrador holding	5	
Corrente de Saída	Numérico		1	Registrador holding	7	
Corrente de Saída UR1	Numérico		1	Registrador holding	11	
Corrente de Saída UR2	Numérico		1	Registrador holding	13	
Corrente de Saída UR3	Numérico		1	Registrador holding	15	
Corrente de Saída UR4	Numérico		1	Registrador holding	17	
Corrente de Saída UR5	Numérico		1	Registrador holding	19	
Corrente de Saída UR6	Numérico		1	Registrador holding	21	
Defeito na UR1	Binário		1	Registrador holding	53/0	
Defeito na UR2	Binário		1	Registrador holding	53/1	
Defeito na UR3	Binário		1	Registrador holding	53/2	
Defeito na UR4	Binário		1	Registrador holding	53/3	
Defeito na UR5	Binário		1	Registrador holding	53/4	
Defeito na UR6	Binário		1	Registrador holding	53/5	
Fuga para Terra (Negativo)	Binário		1	Registrador holding	50/3	
Fuga para Terra (Positivo)	Binário		1	Registrador holding	50/2	
Rede Ok	Binário		1	Registrador holding	50/0	
Temperatura na Sala de Baterias	Numérico		1	Registrador holding	9	
Tensão de Rede Fases AB	Numérico		1	Registrador holding	0	
Tensão de Rede Fases BC	Numérico		1	Registrador holding	1	
Tensão de Rede Fases CA	Numérico		1	Registrador holding	2	
Tensão de Saída	Numérico		1	Registrador holding	6	
Tensão de Saída UR1	Numérico		1	Registrador holding	10	
Tensão de Saída UR2	Numérico		1	Registrador holding	12	
Tensão de Saída UR3	Numérico		1	Registrador holding	14	
Tensão de Saída UR4	Numérico		1	Registrador holding	16	
Tensão de Saída UR5	Numérico		1	Registrador holding	18	
Tensão de Saída UR6	Numérico		1	Registrador holding	20	
UR1 Ligada em Carga	Binário		1	Registrador holding	51/1	
UR1 Ligada em Flutuação	Binário		1	Registrador holding	51/0	
UR2 Ligada em Carga	Binário		1	Registrador holding	51/3	
UR2 Ligada em Flutuação	Binário		1	Registrador holding	51/2	
UR3 Ligada em Carga	Binário		1	Registrador holding	51/5	
UR3 Ligada em Flutuação	Binário		1	Registrador holding	51/4	
UR4 Ligada em Carga	Binário		1	Registrador holding	51/7	
UR4 Ligada em Flutuação	Binário		1	Registrador holding	51/6	
UR5 Ligada em Carga	Binário		1	Registrador holding	52/1	
UR5 Ligada em Flutuação	Binário		1	Registrador holding	52/0	
UR6 Ligada em Carga	Binário		1	Registrador holding	52/3	
UR6 Ligada em Flutuação	Binário		1	Registrador holding	52/2	

Fonte: autores, 2024.

Figura 8 - Tela PX SQSACC, inclusão do sistema microrede cc



Fonte: autores, 2024.

Figura 9 – Pontos digitais físicos, aquisição.

PNT	DESC1	ID	NV2	ORDEN	TPPNT	DESC2	KCONV
PX01MRCC1ST	PXMRCC-1 Falha Rede	MRCC1AMDB_LALAT_20801	MRCC1AMDB_LALAT	20801	PDS	INV	
PX01MRCC1BRSE	PXMRCC-1 Barram. de Saída Energizado	MRCC1AMDB_LALAT_20802	MRCC1AMDB_LALAT	20802	PDS	NOR	
PX01MRCC1FUGAP	PXMRCC-1 Fuga para Terra (Positivo)	MRCC1AMDB_LALAT_20803	MRCC1AMDB_LALAT	20803	PDS	NOR	
PX01MRCC1FUGAN	PXMRCC-1 Fuga para Terra (Negativo)	MRCC1AMDB_LALAT_20804	MRCC1AMDB_LALAT	20804	PDS	NOR	
PX01MRCC1UR1LIGF	PXMRCC-1 UR1 Ligada em Flutuação	MRCC1AMDB_LALAT_20817	MRCC1AMDB_LALAT	20817	PDS	NOR	
PX01MRCC1UR1LIGC	PXMRCC-1 UR1 Ligada em Carga	MRCC1AMDB_LALAT_20818	MRCC1AMDB_LALAT	20818	PDS	NOR	
PX01MRCC1UR2LIGF	PXMRCC-1 UR2 Ligada em Flutuação	MRCC1AMDB_LALAT_20819	MRCC1AMDB_LALAT	20819	PDS	NOR	
PX01MRCC1UR2LIGC	PXMRCC-1 UR2 Ligada em Carga	MRCC1AMDB_LALAT_20820	MRCC1AMDB_LALAT	20820	PDS	NOR	
PX01MRCC1UR3LIGF	PXMRCC-1 UR3 Ligada em Flutuação	MRCC1AMDB_LALAT_20821	MRCC1AMDB_LALAT	20821	PDS	NOR	
PX01MRCC1UR3LIGC	PXMRCC-1 UR3 Ligada em Carga	MRCC1AMDB_LALAT_20822	MRCC1AMDB_LALAT	20822	PDS	NOR	
PX01MRCC1UR4LIGF	PXMRCC-1 UR4 Ligada em Flutuação	MRCC1AMDB_LALAT_20823	MRCC1AMDB_LALAT	20823	PDS	NOR	
PX01MRCC1UR4LIGC	PXMRCC-1 UR4 Ligada em Carga	MRCC1AMDB_LALAT_20824	MRCC1AMDB_LALAT	20824	PDS	NOR	
PX01MRCC1UR5LIGF	PXMRCC-1 UR5 Ligada em Flutuação	MRCC1AMDB_LALAT_20833	MRCC1AMDB_LALAT	20833	PDS	NOR	
PX01MRCC1UR5LIGC	PXMRCC-1 UR5 Ligada em Carga	MRCC1AMDB_LALAT_20834	MRCC1AMDB_LALAT	20834	PDS	NOR	
PX01MRCC1UR6LIGF	PXMRCC-1 UR6 Ligada em Flutuação	MRCC1AMDB_LALAT_20835	MRCC1AMDB_LALAT	20835	PDS	NOR	
PX01MRCC1UR6LIGC	PXMRCC-1 UR6 Ligada em Carga	MRCC1AMDB_LALAT_20836	MRCC1AMDB_LALAT	20836	PDS	NOR	
PX01MRCC1UR1DI	PXMRCC-1 Defeito na UR1	MRCC1AMDB_LALAT_20849	MRCC1AMDB_LALAT	20849	PDS	NOR	
PX01MRCC1UR2DI	PXMRCC-1 Defeito na UR2	MRCC1AMDB_LALAT_20850	MRCC1AMDB_LALAT	20850	PDS	NOR	
PX01MRCC1UR3DI	PXMRCC-1 Defeito na UR3	MRCC1AMDB_LALAT_20851	MRCC1AMDB_LALAT	20851	PDS	NOR	
PX01MRCC1UR4DI	PXMRCC-1 Defeito na UR4	MRCC1AMDB_LALAT_20852	MRCC1AMDB_LALAT	20852	PDS	NOR	
PX01MRCC1UR5DI	PXMRCC-1 Defeito na UR5	MRCC1AMDB_LALAT_20853	MRCC1AMDB_LALAT	20853	PDS	NOR	
PX01MRCC1UR6DI	PXMRCC-1 Defeito na UR6	MRCC1AMDB_LALAT_20854	MRCC1AMDB_LALAT	20854	PDS	NOR	
PX01MRCC1BATCA	PXMRCC-1 Bateria Carregada	MRCC1AMDB_LALAT_20865	MRCC1AMDB_LALAT	20865	PDS	NOR	
PX01MRCC1BATCO	PXMRCC-1 Bateria Descarregando	MRCC1AMDB_LALAT_20866	MRCC1AMDB_LALAT	20866	PDS	NOR	
PX01MRCC1BATDO	PXMRCC-1 Bateria em Nível Baixo	MRCC1AMDB_LALAT_20867	MRCC1AMDB_LALAT	20867	PDS	NOR	
PX01MRCC1BATNB	PXMRCC-1 Bateria em Nível Crítico	MRCC1AMDB_LALAT_20868	MRCC1AMDB_LALAT	20868	PDS	NOR	
PX01MRCC1BATNC	PXMRCC-1 Bateria em Nível Crítico	MRCC1AMDB_LALAT_20869	MRCC1AMDB_LALAT	20869	PDS	NOR	

Fonte: autores, 2024

Figura 10 - Pontos digitais físicos, distribuição.

PNT	DESC1	ID	NV2	ORDEN	TPPNT	KCONV
PX01MRCC1ST COR	PX01MRCC1ST	ELN D104 1 ASIM 50000	ELN D104 1 ASIM	50000	PDD	SQIN
PX01MRCC1BRSE COR	PX01MRCC1BRSE	ELN D104 1 ASIM 50001	ELN D104 1 ASIM	50001	PDD	SQIN
PX01MRCC1FUGAP CO	PX01MRCC1FUGAP	ELN D104 1 ASIM 50002	ELN D104 1 ASIM	50002	PDD	SQIN
PX01MRCC1FUGAN CO	PX01MRCC1FUGAN	ELN D104 1 ASIM 50003	ELN D104 1 ASIM	50003	PDD	SQIN
PX01MRCC1UR1LIGF CO	PX01MRCC1UR1LIGF	ELN D104 1 ASIM 50004	ELN D104 1 ASIM	50004	PDD	SQIN
PX01MRCC1UR1LIGC CO	PX01MRCC1UR1LIGC	ELN D104 1 ASIM 50005	ELN D104 1 ASIM	50005	PDD	SQIN
PX01MRCC1UR2LIGF CO	PX01MRCC1UR2LIGF	ELN D104 1 ASIM 50006	ELN D104 1 ASIM	50006	PDD	SQIN
PX01MRCC1UR2LIGC CO	PX01MRCC1UR2LIGC	ELN D104 1 ASIM 50007	ELN D104 1 ASIM	50007	PDD	SQIN
PX01MRCC1UR3LIGF CO	PX01MRCC1UR3LIGF	ELN D104 1 ASIM 50008	ELN D104 1 ASIM	50008	PDD	SQIN
PX01MRCC1UR3LIGC CO	PX01MRCC1UR3LIGC	ELN D104 1 ASIM 50009	ELN D104 1 ASIM	50009	PDD	SQIN
PX01MRCC1UR4LIGF CO	PX01MRCC1UR4LIGF	ELN D104 1 ASIM 50010	ELN D104 1 ASIM	50010	PDD	SQIN
PX01MRCC1UR4LIGC CO	PX01MRCC1UR4LIGC	ELN D104 1 ASIM 50011	ELN D104 1 ASIM	50011	PDD	SQIN
PX01MRCC1UR5LIGF CO	PX01MRCC1UR5LIGF	ELN D104 1 ASIM 50012	ELN D104 1 ASIM	50012	PDD	SQIN
PX01MRCC1UR5LIGC CO	PX01MRCC1UR5LIGC	ELN D104 1 ASIM 50013	ELN D104 1 ASIM	50013	PDD	SQIN
PX01MRCC1UR6LIGF CO	PX01MRCC1UR6LIGF	ELN D104 1 ASIM 50014	ELN D104 1 ASIM	50014	PDD	SQIN
PX01MRCC1UR6LIGC CO	PX01MRCC1UR6LIGC	ELN D104 1 ASIM 50015	ELN D104 1 ASIM	50015	PDD	SQIN
PX01MRCC1UR1DI CO	PX01MRCC1UR1DI	ELN D104 1 ASIM 50016	ELN D104 1 ASIM	50016	PDD	SQIN
PX01MRCC1UR2DI CO	PX01MRCC1UR2DI	ELN D104 1 ASIM 50017	ELN D104 1 ASIM	50017	PDD	SQIN
PX01MRCC1UR3DI CO	PX01MRCC1UR3DI	ELN D104 1 ASIM 50018	ELN D104 1 ASIM	50018	PDD	SQIN
PX01MRCC1UR4DI CO	PX01MRCC1UR4DI	ELN D104 1 ASIM 50019	ELN D104 1 ASIM	50019	PDD	SQIN
PX01MRCC1UR5DI CO	PX01MRCC1UR5DI	ELN D104 1 ASIM 50020	ELN D104 1 ASIM	50020	PDD	SQIN
PX01MRCC1UR6DI CO	PX01MRCC1UR6DI	ELN D104 1 ASIM 50021	ELN D104 1 ASIM	50021	PDD	SQIN
PX01MRCC1BATCA CO	PX01MRCC1BATCA	ELN D104 1 ASIM 50022	ELN D104 1 ASIM	50022	PDD	SQIN
PX01MRCC1BATCO CO	PX01MRCC1BATCO	ELN D104 1 ASIM 50023	ELN D104 1 ASIM	50023	PDD	SQIN
PX01MRCC1BATDO CO	PX01MRCC1BATDO	ELN D104 1 ASIM 50024	ELN D104 1 ASIM	50024	PDD	SQIN
PX01MRCC1BATNB CO	PX01MRCC1BATNB	ELN D104 1 ASIM 50025	ELN D104 1 ASIM	50025	PDD	SQIN
PX01MRCC1BATNC CO	PX01MRCC1BATNC	ELN D104 1 ASIM 50026	ELN D104 1 ASIM	50026	PDD	SQIN

Fonte: autores, 2024.

Figura 11 – Pontos digitais do sistema.

ID	NOME	OCF	ALARM	ALAR	TAC	TCL	STINI	STINI	ADINIC	TEFAL	SGIN
PX01MRCC1ST	PXMRCC-1 Falha Rede	OcrUrglAlarme01	SIM	NAO	MRCC1 TAC	NLCL	A	F	NORMAL	NLFL	NAO
PX01MRCC1BRSE	PXMRCC-1 Barram. de Saída Energizado	OcrAdvlAlarme01	NAO	SIM	MRCC1 TAC	NLCL	A	F	NORMAL	NLFL	NAO
PX01MRCC1FUGAP	PXMRCC-1 Fuga para Terra (Positivo)	OcrAdvlAlarme01	SIM	NAO	MRCC1 TAC	NLCL	A	F	NORMAL	NLFL	NAO
PX01MRCC1FUGAN	PXMRCC-1 Fuga para Terra (Negativo)	OcrAdvlAlarme01	SIM	NAO	MRCC1 TAC	NLCL	A	F	NORMAL	NLFL	NAO
PX01MRCC1UR1LIGP	PXMRCC-1 UR1 Ligada em Flutuação	OcrAdvlAlarme01	NAO	SIM	MRCC1 TAC	NLCL	A	F	NORMAL	NLFL	NAO
PX01MRCC1UR1LIGC	PXMRCC-1 UR1 Ligada em Carga	OcrAdvlAlarme01	NAO	SIM	MRCC1 TAC	NLCL	A	F	NORMAL	NLFL	NAO
PX01MRCC1UR2LIGP	PXMRCC-1 UR2 Ligada em Flutuação	OcrAdvlAlarme01	NAO	SIM	MRCC1 TAC	NLCL	A	F	NORMAL	NLFL	NAO
PX01MRCC1UR2LIGC	PXMRCC-1 UR2 Ligada em Carga	OcrAdvlAlarme01	NAO	SIM	MRCC1 TAC	NLCL	A	F	NORMAL	NLFL	NAO
PX01MRCC1UR3LIGP	PXMRCC-1 UR3 Ligada em Flutuação	OcrAdvlAlarme01	NAO	SIM	MRCC1 TAC	NLCL	A	F	NORMAL	NLFL	NAO
PX01MRCC1UR3LIGC	PXMRCC-1 UR3 Ligada em Carga	OcrAdvlAlarme01	NAO	SIM	MRCC1 TAC	NLCL	A	F	NORMAL	NLFL	NAO
PX01MRCC1UR4LIGP	PXMRCC-1 UR4 Ligada em Flutuação	OcrAdvlAlarme01	NAO	SIM	MRCC1 TAC	NLCL	A	F	NORMAL	NLFL	NAO
PX01MRCC1UR4LIGC	PXMRCC-1 UR4 Ligada em Carga	OcrAdvlAlarme01	NAO	SIM	MRCC1 TAC	NLCL	A	F	NORMAL	NLFL	NAO
PX01MRCC1UR5LIGP	PXMRCC-1 UR5 Ligada em Flutuação	OcrAdvlAlarme01	NAO	SIM	MRCC1 TAC	NLCL	A	F	NORMAL	NLFL	NAO
PX01MRCC1UR5LIGC	PXMRCC-1 UR5 Ligada em Carga	OcrAdvlAlarme01	NAO	SIM	MRCC1 TAC	NLCL	A	F	NORMAL	NLFL	NAO
PX01MRCC1UR6LIGP	PXMRCC-1 UR6 Ligada em Flutuação	OcrAdvlAlarme01	NAO	SIM	MRCC1 TAC	NLCL	A	F	NORMAL	NLFL	NAO
PX01MRCC1UR6LIGC	PXMRCC-1 UR6 Ligada em Carga	OcrAdvlAlarme01	NAO	SIM	MRCC1 TAC	NLCL	A	F	NORMAL	NLFL	NAO
PX01MRCC1UR1DI	PXMRCC-1 Defeito na UR1	OcrUrglAlarme01	SIM	NAO	MRCC1 TAC	NLCL	A	F	NORMAL	NLFL	NAO
PX01MRCC1UR2DI	PXMRCC-1 Defeito na UR2	OcrUrglAlarme01	SIM	NAO	MRCC1 TAC	NLCL	A	F	NORMAL	NLFL	NAO
PX01MRCC1UR3DI	PXMRCC-1 Defeito na UR3	OcrUrglAlarme01	SIM	NAO	MRCC1 TAC	NLCL	A	F	NORMAL	NLFL	NAO
PX01MRCC1UR4DI	PXMRCC-1 Defeito na UR4	OcrUrglAlarme01	SIM	NAO	MRCC1 TAC	NLCL	A	F	NORMAL	NLFL	NAO
PX01MRCC1UR5DI	PXMRCC-1 Defeito na UR5	OcrUrglAlarme01	SIM	NAO	MRCC1 TAC	NLCL	A	F	NORMAL	NLFL	NAO
PX01MRCC1UR6DI	PXMRCC-1 Defeito na UR6	OcrUrglAlarme01	SIM	NAO	MRCC1 TAC	NLCL	A	F	NORMAL	NLFL	NAO
PX01MRCC1BATCA	PXMRCC-1 Bateria Carregada	OcrUrglAlarme01	NAO	SIM	MRCC1 TAC	NLCL	A	F	NORMAL	NLFL	NAO
PX01MRCC1BATCO	PXMRCC-1 Bateria Descarregando	OcrUrglAlarme01	SIM	NAO	MRCC1 TAC	NLCL	A	F	NORMAL	NLFL	NAO
PX01MRCC1BATDO	PXMRCC-1 Bateria Descarregando	OcrUrglAlarme01	SIM	NAO	MRCC1 TAC	NLCL	A	F	NORMAL	NLFL	NAO
PX01MRCC1BATNB	PXMRCC-1 Bateria em Nível Baixo	OcrUrglAlarme01	SIM	NAO	MRCC1 TAC	NLCL	A	F	NORMAL	NLFL	NAO
PX01MRCC1BATNC	PXMRCC-1 Bateria em Nível Crítico	OcrUrglAlarme01	SIM	NAO	MRCC1 TAC	NLCL	A	F	NORMAL	NLFL	NAO

Fonte autores, 2024.

Figura 12 – Pontos que sinalizarão em alarmes.

PX01MRCC1ST	PXMRCC-1 Falha Rede	Normal [!]	[1 URG]
PX01MRCC1BATNC	PXMRCC-1 Bateria em Nível Crítico	Normal	[1 URG]
PX01MRCC1BATNB	PXMRCC-1 Bateria em Nível Baixo	Normal	[1 URG]
PX01MRCC1BATDO	PXMRCC-1 Bateria Descarregando	Normal	[1 URG]
PX01MRCC1BATCO	PXMRCC-1 Bateria Carregando	Normal	[1 URG]
PX01MRCC1UR6DI	PXMRCC-1 Defeito na UR6	Normal [!]	[1 URG]
PX01MRCC1UR5DI	PXMRCC-1 Defeito na UR5	Normal [!]	[1 URG]
PX01MRCC1UR4DI	PXMRCC-1 Defeito na UR4	Normal [!]	[1 URG]
PX01MRCC1UR3DI	PXMRCC-1 Defeito na UR3	Normal [!]	[1 URG]
PX01MRCC1UR2DI	PXMRCC-1 Defeito na UR2	Normal [!]	[1 URG]
PX01MRCC1UR1DI	PXMRCC-1 Defeito na UR1	Normal [!]	[1 URG]
PX01MRCC1FUGAP	PXMRCC-1 Fuga para Terra (Positivo)	Normal	[1 ADV]
PX01MRCC1FUGAN	PXMRCC-1 Fuga para Terra (Negativo)	Normal	[1 ADV]

Fonte: autores, 2024.

No geral, a metodologia do projeto envolveu a implementação do SAGE como gerenciamento de energia, a necessidade da 3ª fonte de energia para os serviços auxiliares de corrente contínua foi identificada e validada por consulta pública. O projeto exigiu, para a comunicação do SAGE, o desenvolvimento de uma nova placa de comunicação para converter os dados. Os pesquisadores da empresa equatorial selecionaram as variáveis para a implementação do sistema e a empresa Guimarães Multisserviços engenharia LTDA realizou grande parte da inclusão do sistema microrede CC na base de dados do SAGE, assim como alarmes e telas.

4 RESULTADOS

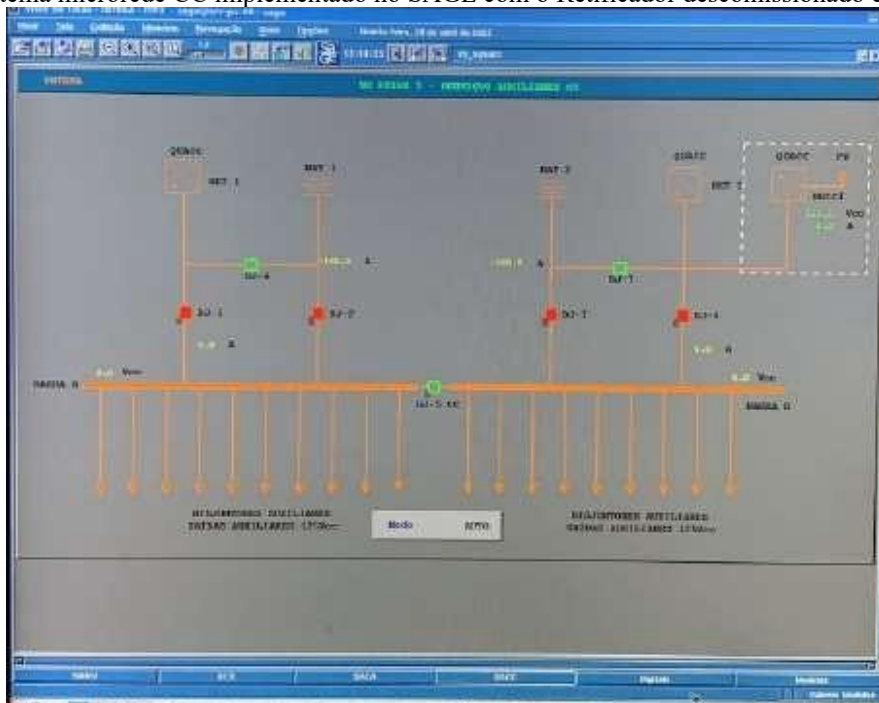
O Sistema microrede CC foi implantado na Subestação Peixe II entre os dias 11 e 14 de abril de 2022 sem a ocorrência de nenhum incidente. Os pesquisadores da Tracel, Unesp e Equatorial planejaram cada passo da instalação, start up e operação assistida detalhadamente para não ocorrer nenhuma anormalidade e interferência no planejado. A figura 13 apresenta parte do Sistema microrede CC instalado na subestação. O equipamento está sendo monitorado via SAGE na operação local e na operação remota conforme figuras 14 e 15.

Figura 13 - Sistema microrede CC (as duas torres na cor cinza) e inversor on-grid comercial (ao fundo)



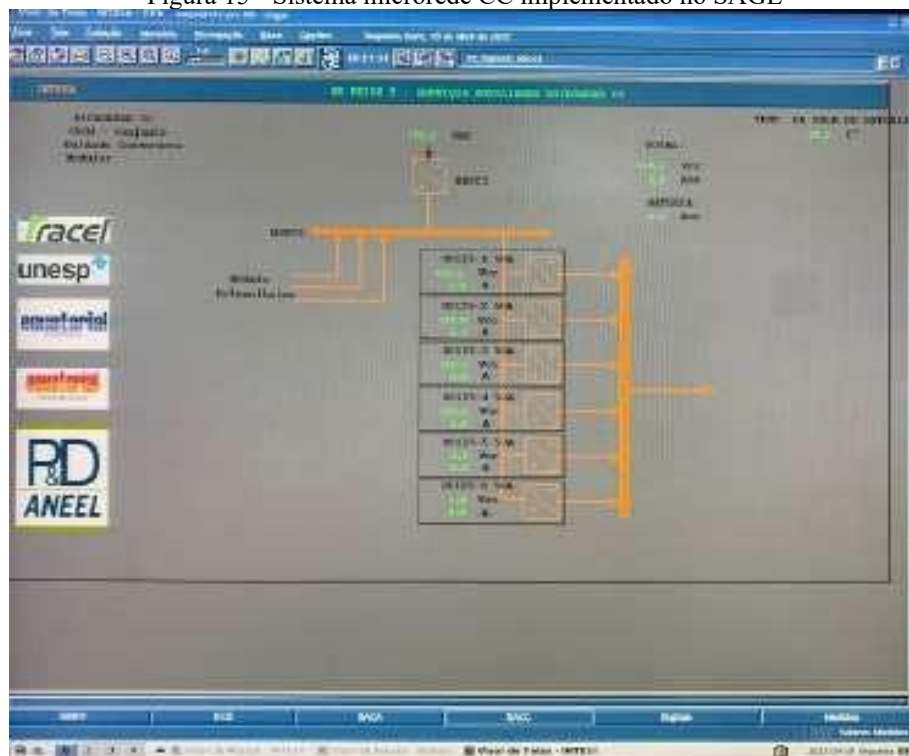
Fonte: autores, 2024.

Figura 14 - Sistema microrede CC implementado no SAGE com o Retificador descomissionado como redundante



Fonte: autores, 2024.

Figura 15 - Sistema microrede CC implementado no SAGE

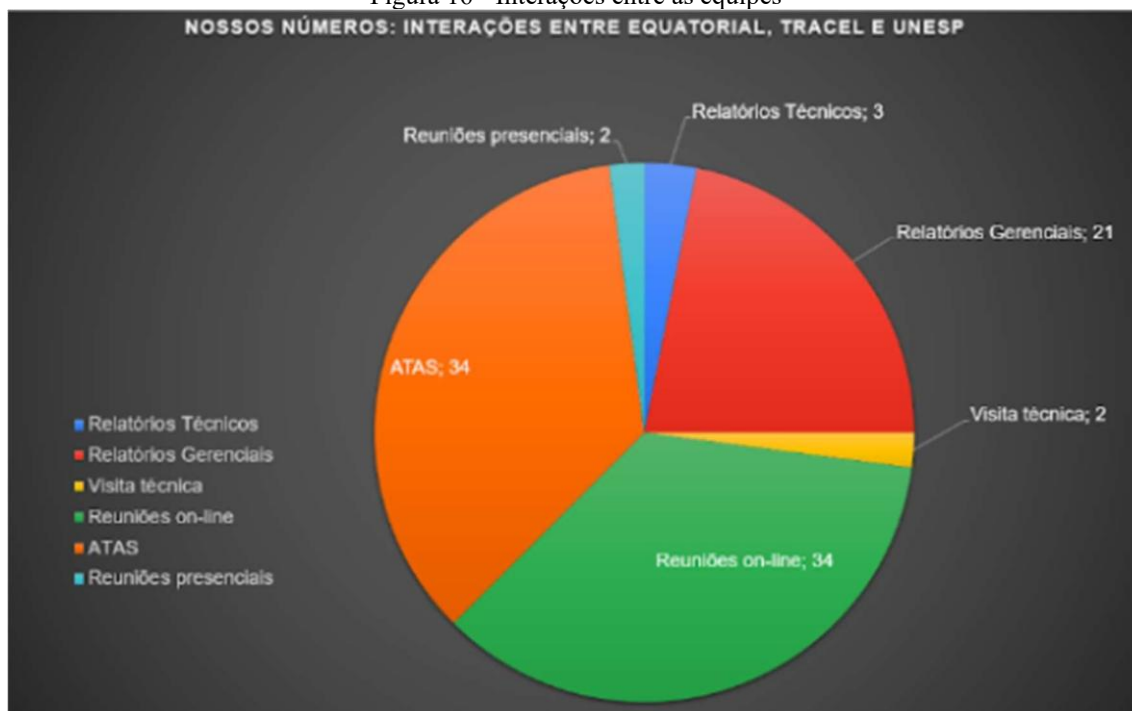


Fonte: autores, 2024.

A geração distribuída foi aprovada no dia 06 de abril de 2022. O sistema fotovoltaico foi conectado na rede elétrica da destruidora no dia 12 de abril de 2022 depois da inspeção no local e troca do medidor.

Durante a execução do projeto, houve inúmeras interações e trocas de conhecimento entre pesquisadores da Tracel, da Unesp e da Equatorial, com foco no desenvolvimento intelectual e na transferência de conhecimento entre ambas as partes. Pesquisadores da Tracel treinaram a equipe técnica da Equatorial. Porém, quando surgiram dúvidas sobre como instalar um sistema de microrede CC em uma subestação, a equipe técnica e pesquisadores da Equatorial e da Unesp deram uma contribuição positiva, agregando valor aos pesquisadores da Tracel no nível de melhoria técnica da nova tecnologia para finalizar o projeto. A Figura 16 mostra as interações entre as equipes.

Figura 16 - Interações entre as equipes



Fonte: autores, 2024.

Em suma, o projeto foi estendido em mais 10 meses. O prazo inicial era de 24 meses e o prazo final foi de 34 meses. A extensão do prazo foi necessária para possibilitar a comunicação do Sistema microrede CC com o SAGE, aumentar o tempo de ensaios em fábrica para adquirir tempo de ensaio suficiente para garantir que na instalação em campo não ocorresse nenhuma falha. A tabela x apresenta os valores da energia elétrica da subestação Peixe II sem e com o Sistema microrede CC em operação. Durante o período de 5 meses o produto deste projeto de P&D reduziu o passivo, energia elétrica, em R\$ 28.911,00 e permitiu o aumento da confiabilidade dos serviços auxiliares de corrente contínua.

Tabela 1 – Redução do passivo: energia elétrica

Tabela 1 - Redução do consumo passivo: Energia elétrica			
Meses	R\$ Total da conta de luz	Sistema microrede CC	Somatório
Média dos meses de JAN a Mar/22	R\$ 21.849,83	Desligado	R\$ 108.210,36
	R\$ 21.849,83		
Jan/22	R\$ 22.441,87		
Fev/22	R\$ 20.219,00		
Mar/22	R\$ 21.849,83		
Abr/22	R\$ 16.472,02	Ligado	R\$ 79.298,79
Mai/22	R\$ 15.304,13		
Jun/22	R\$ 15.328,27		
Jul/22	R\$ 15.360,81		
Ago/22	R\$ 16.833,56		
Diferença:			R\$ 28.911,57

Fonte: autores, 2024.

5 CONCLUSÃO

A utilização do SAGE nas grandes empresas do setor elétrico brasileiro é numerosa e visível. Este sistema é necessário devido à sua relevância para melhorar a confiabilidade dos sistemas críticos de monitoramento de comando e controle em subestações e à sua importância associada às questões de segurança operacional dos equipamentos (FEITOSA, 2023). Este recurso é incomum para usuários industriais, no entanto bem recebido pelos gestores porque implementa soluções que atendem à segurança, confiabilidade, sustentabilidade, aliadas a retorno garantido do investimento e argumentos relevantes para garantir potência enquanto a empresa obtém maior rentabilidade.

No contexto final, percebe-se que era necessário a comunicação do Sistema microrede CC com o SAGE, pois era um impeditivo para o Sistema microrede CC ficar operando de forma constante na Subestação, garantindo a confiabilidade do projeto e a integração aos sistemas de monitoramento dos equipamentos ligados ao (SIN). Dessa forma contribuindo para que o investimento no sistema desenvolvido no projeto seja entendido como um investimento prudente.

REFERÊNCIAS

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. “NOTA TÉCNICA Nº 90/2019– SRT-SCT-SFE/ANEEL - Abertura de Consulta Pública para revisão dos Submódulos 2.3 e 10.14 dos Procedimentos de Rede”. Emitida: 03 de dezembro de 2019.

BABOSA, D. A. Desenvolvimento dos Conversores de Potência para Criação de uma Microrede Trifásica Baseada em Energias Renováveis. Março de 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Eletrônica Industrial e Computadores) – Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2021.

COELHO, R. F. CONCEPÇÃO, ANÁLISE E IMPLEMENTAÇÃO DE UMA MICRORREDE INTERLIGADA À REDE ELÉTRICA PARA ALIMENTAÇÃO ININTERRUPTA DE CARGAS CC A PARTIR DE FONTES RENOVÁVEIS. [s.l.] Biblioteca Universitária da Universidade Federal de Santa Catarina , 16 ago. 2013

COSTA, Eduardo Lima. Sistema supervisorio para dispositivos modbus tcp/ip via aplicação web. Universidade Federal De Pernambuco, Recife, 2022.

DE LUIZ ARAÚJO, A. APLICAÇÃO DA NORMA IEC-61850 NA AQUISIÇÃO SAGE: ESTUDO DE CASO SUPERVISÃO E CONTROLE DE UMA LINHA DE TRANSMISSÃO DE 500 KV. [s.l.] Universidade Federal de Pernambuco, 4 maio 2023.

ELETROBRÁS. Eletrobras Furnas adota SAGE como plataforma de Supervisão e Controle de seus centros de operação. Cepel, 2024. Disponível em: <https://www.cepel.br/2024/03/14/eletrobras-furnas-adota-sage-em-seus-centros-de-operacao/>

FEITOSA, Jefferson Estevo. Desenvolvimento de um sistema supervisorio para monitoramento de subestações de energia elétrica. 2023. 35 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia de Computação) - Departamento de Engenharia de Computação e Automação, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2023.

MELLO, Elder Luiz, FALKENBACH, Carlos Alberto Meireles, MIRANDA, Hugo Villela, RESENDE, José Francisco. Desenvolvimento de equipamento para microrede cc e ca para alimentação de cargas críticas em subestações através de sistema híbrido com fontes renováveis. Equatorial, 2024.

MELO, Gustavo Henrique Souza. Implementação de um sistema de controle supervisorio e aquisição de dados para usinas de geração distribuída voltada à energia solar fotovoltaica. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Eletrônica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2023.

MICHAEL B. Geringer, Kurt T. Smith e Karl L. Kosciuch "Observations of Greater Sage-Grouse at a Solar Energy Facility in Wyoming," Western North American Naturalist 82(1), 196-200, (21 de março de 2022). <https://doi.org/10.3398/064.082.0121>

ROISENBERG, Leandro. Uma análise comparativa dos protocolos Modbus TCP, EtherNet/IP e PROFINET. LRI automação industrial Brasil, 2024. Disponível em: <https://blog.lri.com.br/uma-analise-comparativa-dos-protocolos-modbus-tcp-ethernet-ip-e-profinet/>

OLIVEIRA, L. G. Modelo matemático para o dimensionamento ótimo de uma microrede para suprir a demanda de serviços auxiliares de subestações em períodos de falhas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Faculdade de Engenharia Campus de Ilha Solteira, São Paulo, 2022.

PEREIRA, Luiz A.C., LIMA, Luiz C., SILVA, Antônio J.R.S., MACHADO, Paulo A., AMORIM, Maria F.P., FILHO, Ayru L.O., AZEVEDO, Gilberto P., LAMBERT, Nivaldo, ZARUR, Pedro D., TAVARES, Vladimir V., HUANG, Juli L.C., COSTA, Marcelo R., VIDAL, Carla G., IENCARELLI, Carlos E. SAGE- Um Sistema Aberto para a Evolução. Eletrobrás, 2018.

PEREIRA, Wanderson Martins. Análise da gestão de manutenção em concessionárias de energia elétrica do estado do Ceará entre os início de 2019 a abril de 2023: estudo de equipamentos, incidências e comunicações. 2023. 93 f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2023.

VIEIRA, CE UPS híbrida: integração de uma fonte de alimentação ininterrupta com um sistema de geração fotovoltaico . [sl] Instituto Politécnico de Setúbal. Escola Superior de Tecnologia de Setúbal, Dez-2016.