

RELATÓRIO DE PROGRESSO

Período: 10/05/2023 a 09/06/2024

PROJETO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO



PD-07351-0001/2022

SISTEMA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA EM BATERIAS ÍON-LI COM GERAÇÃO FOTOVOLTAICA ASSOCIADA PARA BLACK START E SUPRIMENTO DE CARGAS ESSENCIAIS DOS SERVIÇOS AUXILIARES DE SUBESTAÇÕES

Geração Energia		Funape/UFG	
Marcelo N. Bousquet	Gerente	Prof. Dr. Enes Gonçalves Marra	Coordenador
Gabriel M. de Araújo	Pesquisador	Prof. Dr. José Wilson Lima Nerys	Pesquisador
Ananias V. de Andrade	Pesquisador	Prof. Dr. Sérgio Pires Pimentel	Pesquisador
Mírian P. Rabelo de Lima	Adm. Financeiro	Me. Leovir Cardoso A. Junior	Pesquisador
Daniel F. de Souza	Estagiário Eng.		

DATA	REVISÃO	ELABORAÇÃO	REVISÃO
10/06/2023	Emissão Inicial	MNB	EGM

Sumário

1. INTRODUÇÃO	3
2. APRESENTAÇÃO DO PROJETO.....	4
2.1. Quadro Resumo de Dados do Projeto	5
2.2. Recursos de Financiamento	6
2.3. Equipe de P&D.....	6
2.4. Justificativa e Objetivos	6
3. DESENVOLVIMENTO.....	8
3.1. O vão de linha da Firminópolis Transmissão.....	9
3.2. Os Serviços Auxiliares	11
3.3. Levantamento da Carga de Corrente Alternada	12
3.4. Medições de campo das Cargas de Corrente Alternada	17
3.5. Levantamento da Carga de Corrente Contínua	21
4. REVISÃO DE LITERATURA	24
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	28
6. LISTA DE ANEXOS	29
Anexo 01 – Coletânea das ATAS PEDGOT 009 a 010-2023	29
Anexo 02 – CE328-E-403 Arranjo do Edifício de Comando	29
Anexo 03 – CE328-E-203 Corte 230kV vão LT Firminópolis C1	29
Anexo 04 – CE328-C-XXX Memorial Cálculo Serviços Auxiliares CA R1.....	29

1. INTRODUÇÃO

Conforme previsto na Lei no 9.991, de 24 de julho de 2000, as concessionárias de serviços públicos de distribuição, transmissão ou geração de energia elétrica, entre outras, devem aplicar, anualmente, um percentual mínimo de sua receita operacional líquida (ROL) em projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e em Eficiência Energética (EE).

No âmbito da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o objetivo do Programa de P&D/EE é alocar adequadamente recursos humanos e financeiros em projetos que demonstrem a originalidade, aplicabilidade, relevância e a viabilidade econômica de produtos e serviços, nos processos e usos finais de energia.

Assim, um Projeto de P&D deve levar ou buscar levar à implementação de produtos e/ou de processos novos ou melhorados. Dessa forma, busca-se promover a cultura da inovação, com estímulos à pesquisa e ao desenvolvimento do setor elétrico brasileiro, criando equipamentos e aprimorando a prestação de serviços que contribuam, por exemplo, para a segurança do fornecimento de energia elétrica, a modicidade tarifária, a diminuição do impacto ambiental do setor e da dependência tecnológica do país.

Para se cumprir a obrigação de investir em P&D e EE, as concessionárias devem cadastrar seus projetos no Sistema de Gestão da ANEEL, antes do início de sua execução. Os resultados alcançados e os gastos incorridos, porém, serão avaliados após o término do projeto, para fins de aprovação e reconhecimento dos investimentos realizados.

A empresa regulada pela ANEEL com obrigatoriedade de atendimento à Lei nº 9.991/2000 que acumular, em 31 de dezembro de cada ano, na Conta Contábil de P&D um montante superior ao investimento obrigatório dos 24 (vinte e quatro) meses anteriores, incluindo o mês de apuração (dezembro), está sujeita às penalidades previstas na Resolução Normativa nº 63/2004.

2. APRESENTAÇÃO DO PROJETO

Este relatório descreve o progresso das atividades de execução do projeto de pesquisa e desenvolvimento intitulado “**Sistema de armazenamento de energia em baterias Íon-Li com geração fotovoltaica associada para Black Start e suprimento de cargas essenciais dos serviços auxiliares de subestações**” cadastrado sob o código **PD-07351-0001/2022** junto à Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Esse é um Projeto de **P&D Cooperativo**, financiado por sete empresas do segmento de transmissão de energia elétrica, todas com obrigação de atendimento ao disposto na Lei nº 9.991/2000.

O P&D Cooperativo está previsto nos Procedimentos do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento (PROP&D) como sendo aquele no qual duas ou mais empresas cooperam na execução de um projeto, onde há uma empresa identificada como proponente e as demais denominadas cooperadas. Nesse caso, a proponente é a responsável pelo cadastro e o informe do interesse na execução e respectiva data de início do projeto à ANEEL, assim como pelo envio dos relatórios final e de auditoria contábil e financeira.

No trabalho aqui apresentado, as concessionárias de transmissão participantes como financiadoras do projeto são:

Proponente:	Cooperadas:	
Goiás Transmissão	MGE Transmissão	Triângulo Mineiro Transmissora
	Transenergia Renovável	Vale do São Bartolomeu Transmissora
	Transenergia São Paulo	Firminópolis Transmissão

Do rol de temas sugeridos pela ANEEL para investimentos em P&D, esse trabalho está direcionado para a **QC – Qualidade e Confiabilidade dos Serviços de Energia Elétrica**, com subtema sendo QCOX – Outro (Sistemas e técnicas para aumento da confiabilidade e disponibilidade do serviço de transmissão de energia elétrica).

Conforme o PROP&D, todo projeto deve ser enquadrado em uma das fases da cadeia da inovação: pesquisa básica dirigida, pesquisa aplicada, desenvolvimento experimental, cabeça de série, lote pioneiro ou inserção no mercado. Esse projeto se caracteriza como inovação de processo, através de um novo e aperfeiçoado método de disponibilizar energia emergencial às

subestações, sendo classificado como **Desenvolvimento Experimental (DE)**. O produto esperado é a obtenção de um sistema de armazenamento de energia em baterias de íons de lítio com geração fotovoltaica para suprimento dos serviços auxiliares e auto restabelecimento de cargas essenciais de subestações de transmissão de energia elétrica.

A data de cadastramento desse P&D na base da ANEEL é 23 de dezembro de 2022 e a **data de início** da sua execução é **10 de março de 2023**, tendo duração prevista de **36 meses** a partir de então.

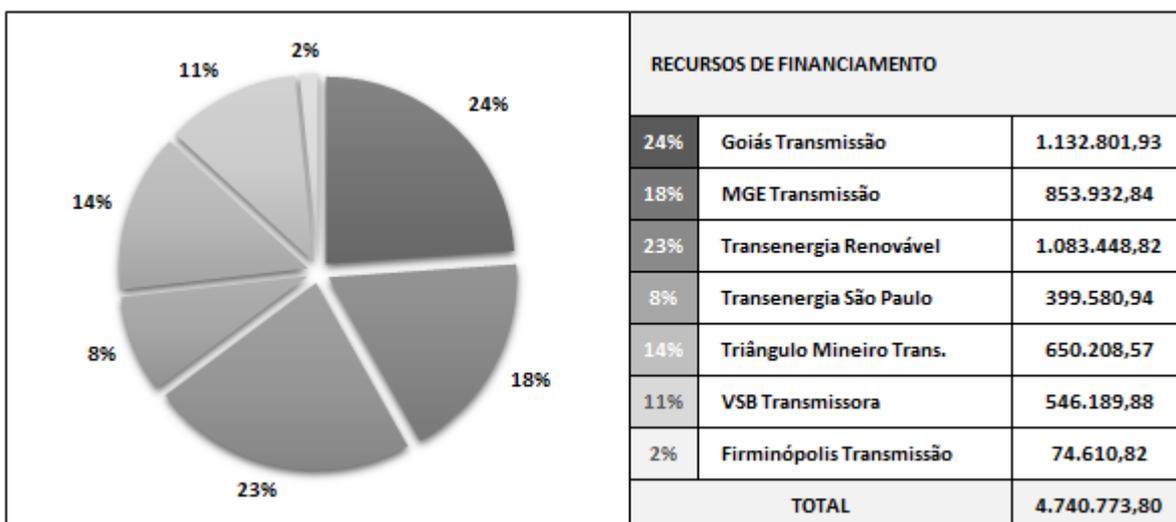
As fontes dos recursos para financiamento da pesquisa serão as transmissoras conveniadas ao projeto (proponente e cooperadas). O **orçamento** para a plena execução do objetivo pretendido é de **R\$ 4.740.773,80**, tendo custeio rateado segundo os valores mínimos obrigatórios de investimento de cada concessionária.

A equipe base do projeto é composta por um gerente de projeto, um coordenador da pesquisa, dois professores pesquisadores, um aluno de doutorado, um aluno de mestrado, um estagiário de engenharia, dois engenheiros de campo, dois auxiliares técnicos e um auxiliar administrativo.

2.1. Quadro Resumo de Dados do Projeto

Título	Sistema de armazenamento de energia em baterias Íon-Li com geração fotovoltaica associada para Black Start e suprimento de cargas essenciais dos serviços auxiliares de subestações		
Código ANEEL	PD-07351-0001/2022	Data do Cadastro	23/12/2022
Duração	36 meses	Data de Início	10/03/2023
Orçamento	R\$ 4.740.773,80		
Tema	QC - Qualidade e Confiabilidade dos Serviços de Energia Elétrica		
Subtema	QCOX – Outro (Sistemas e técnicas para aumento da confiabilidade e disponibilidade do serviço de transmissão de energia elétrica)		
Tipo de Projeto	Cooperativo	Proponente	Goiás Transmissão
Cooperadas	MGE, Transenergia Renovável, Transenergia São Paulo, Triângulo Mineiro, Vale do São Bartolomeu e Firminópolis		

2.2. Recursos de Financiamento



2.3. Equipe de P&D

Durante o período em referência, a equipe de pesquisa e desenvolvimento foi composta pelos membros relacionados no quadro abaixo, com suas respectivas funções, dedicação mensal e período de participação no projeto.

Nome	Título	Função no Projeto	Dedicação	Participação
Eng. Marcelo N. Bousquet	Especialista	Gerente do Projeto	40 h/mês	36 meses
Prof. Enes G. Marra	Doutor	Coordenador da Pesquisa	32 h/mês	36 meses
Prof. José Wilson L. Nerys	Doutor	Pesquisador Acadêmico	24 h/mês	36 meses
Prof. Sérgio P. Pimentel	Doutor	Pesquisador Acadêmico	24 h/mês	36 meses
Eng. Gabriel M. Araújo	Bacharel	Pesquisador Eng. de Campo	26 h/mês	36 meses
Eng. Ananias V. Andrade	Bacharel	Pesquisador Eng. de Campo	40 h/mês	36 meses
Eng. Leovir C. A. Junior	Mestre	Bolsista Doutorado	70 h/mês	36 meses
Mírian Pérola Rabelo	Bacharel	Aux. Adm. Financeiro	30 h/mês	36 meses
Nayara Paula Gomes	Bacharel	Fiscal Área Técnica	4 h/mês	36 meses
Elizete Pereira	Bacharel	Fiscal Adm. Financeiro	2 h/mês	36 meses
Filipe Santos Oliveira	Bacharel	Jurídico	2 h/mês	36 meses

2.4. Justificativa e Objetivos

A malha de transmissão do Sistema Interligado Nacional possibilita a interconexão dos sistemas elétricos, promovendo a integração das fontes de produção de energia e suprindo o

mercado consumidor. Nesse contexto, as subestações são instalações fundamentais na prestação do serviço público de transmissão de energia elétrica. Sua operação é realizada por meio dos painéis dos serviços auxiliares, supridos por fontes de alimentação independentes e confiáveis. A interrupção do suprimento de energia dessas fontes pode gerar descontinuidade do serviço de transmissão, causando desdobramentos de grande abrangência.

O mecanismo utilizado pela ANEEL para incentivar a qualidade do serviço de transmissão de energia elétrica é a chamada Parcela Variável (PV). Ele consiste no desconto incidente sobre a remuneração mensal das concessionárias pela indisponibilidade verificada da instalação de transmissão. A aplicação da PV tem por objetivo melhorar a utilização dos recursos existentes nas redes e a execução mais eficiente de controles tais como o de emergência e o de restabelecimento. Basicamente, a PV tem o intuito de incentivar a adoção de gestões na expansão, operação e manutenção do sistema elétrico para maximizar a disponibilidade das instalações de transmissão, reduzindo os impactos indesejáveis na operação dele, tais como a ocorrência de desligamentos simples ou de grandes proporções.

Nesse contexto, a motivação principal desse projeto é a de propor uma nova solução de energia emergencial para subestações, assegurando a qualidade da gestão operacional dos ativos de transmissão e mantendo a confiabilidade e robustez do setor elétrico. Para isso, o objetivo principal do P&D é desenvolver, experimentalmente, um arranjo composto por Sistema de Armazenamento de Energia em Baterias (SAEB), com tecnologia de íons de Lítio do tipo LiFePO₄ (lítio ferro fosfato) combinado a um sistema Fotovoltaico (FV) e respectivos inversores/conversores necessários à conexão com os serviços auxiliares de subestações, garantindo seu auto restabelecimento em condições de restrição das fontes de alimentação e suprimento de cargas essenciais. Assim, o arranjo proposto deverá manter a capacidade operacional da casa de comando e controle até que as equipes de manutenção consigam de restabelecer por completo a normalidade da operação.

Por outro lado, em operação rotineira, sem contingências e com o SAEB completamente carregado, a energia gerada diariamente a partir do sistema FV poderá ser disponibilizada ao barramento dos serviços auxiliares para suprir as cargas da subestação, evitando o consumo de energia das fontes primárias e aliviando, em escala, o sistema elétrico.

3. DESENVOLVIMENTO

Para se cumprir o objetivo desse projeto e investigar a empregabilidade do arranjo proposto como fonte de suprimento emergencial dos serviços auxiliares de subestações, a equipe executora definiu a realização de reuniões ordinárias quinzenais para debate, nivelamento de informações e definição das ações e providências a serem tomadas.

A primeira reunião da equipe aconteceu antes mesmo do início efetivo do projeto no âmbito da ANEEL, em 10/03/2023. Teve o objetivo de dar as boas-vindas aos participantes e estreitar o relacionamento entre todos. A partir desse encontro ficou estabelecido o uso de ferramentas digitais para facilitar a comunicação da equipe, através da criação de um servidor virtual para compartilhamento de dados eletrônicos, além de um grupo de discussão no aplicativo de mensagens eletrônicas Telegram.

Durante o período de abrangência desse relatório, os pesquisadores debateram ideias, técnicas e formas de se implementar o arranjo de baterias com geração fotovoltaica associada e sua conexão aos serviços auxiliares em corrente alternada da Firminópolis Transmissão. O cronograma das reuniões ordinárias seguiu conforme **Tabela 1** e as respectivas atas assinadas encontram-se no **Anexo 1** desse relatório.

Tabela 1 – Reuniões Ordinárias da Equipe de P&D

DATA	HORÁRIO	LOCAL	REUNIÃO	ATA
13/05/2023	14h00 às 15h00	Google Meet	Realizada	009-2023
25/05/2023	14h00 às 16h00	Google Meet	Realizada	010-2023

Destaca-se que, em março de 2023, a equipe do projeto tomou conhecimento de um problema rotineiro enfrentado pelos operadores de linhas e subestações que tem relação direta com provimento de energia aos serviços auxiliares. Em instalações onde não há disponibilidade da fonte interna, como subestações sem transformação, além da dificuldade em se conseguir duas redes de distribuição distintas, normalmente a(s) rede(s) disponível(eis) é(são) radial(ais) e defasada(s), oferecendo energia de má qualidade. Oscilações de tensão para limiares abaixo dos parâmetros elétricos aceitáveis são comuns. O afundamento da tensão elétrica causa a comutação entre as fontes principais de suprimento de uma subestação.

Na desconexão da fonte principal por subtensão e ao ser provida por sua segunda fonte de alimentação, a carga da subestação alivia a rede de distribuição (a primeira fonte), que volta a apresentar limites de tensão aceitáveis para a operação, incorrendo assim em novo chaveamento. Ao assumir novamente a carga da subestação, a rede de distribuição inicial deverá, mais uma vez, experimentar um afundamento de tensão, iniciando-se um novo ciclo. Esse desajuste operacional, ocasionado pelas fontes externas de alimentação dos serviços auxiliares, causa a perda de parametrização dos retificadores que alimentam o banco de baterias da subestação. A reprogramação dos retificadores deve, obrigatoriamente, ser realizada em campo, gerando uma demanda de envio de equipe de manutenção por parte do Centro de Operação.

Para um melhor entendimento das discussões a respeito do arranjo proposto, há a necessidade de se conhecer mais detalhadamente o local pretendido para a implementação de campo.

3.1. O vão de linha da Firminópolis Transmissão

A Subestação Trindade, ou simplesmente SE Trindade, é uma instalação de propriedade da Goiás Transmissão, empresa proponente desse P&D, que conta com capacidade total de transformação de 1.600MVA (mega volt-ampères), sendo composta por quatro bancos de autotransformadores (ATR's) de 500/230-13,8kV (quilovolts) e dois bancos de reatores de 36MVAr (mega volt-ampères reativo).

No setor 230kV da SE Trindade, encontram-se os vãos de interligação de barras, conexão de autotransformador 500/230 kV – ATR1, ATR2, ATR3, ATR4, e as seguintes instalações:

- ✓ Vão de linha de transmissão para SE Xavantes C1 e C2;
- ✓ Vão de linha de transmissão para SE Carajás C1; e
- ✓ **Vão de linha de transmissão para SE Firminópolis C1;**

A Firminópolis Transmissão é composta pela linha de transmissão LT 230 kV Trindade – Firminópolis, em circuito simples, com aproximadamente 83 km de extensão e respectivos vãos de linha nas Subestações Trindade e Firminópolis.

O objeto dessa pesquisa é realizar um estudo técnico científico para o desenvolvimento de novas tecnologias e métodos, controle operacional, ambiente regulatório e viabilidade técnico-econômica de um **sistema de armazenamento de energia em banco de baterias de íons de Lítio com geração fotovoltaica** para atuar como **fonte de energia emergencial**, suprindo o barramento de **serviços auxiliares da casa de comando e controle** da Firminópolis

3.2. Os Serviços Auxiliares

Para João Mamede Filho [1], as subestações de alta tensão devem ser providas de serviços auxiliares necessários ao seu funcionamento em condições normais de operação e permitir, em condições de defeito interno ou externo, manter serviços básicos de forma a possibilitar o trabalho das equipes de manutenção para sua reinserção no sistema.

O Operador Nacional do Sistema (ONS) define serviços auxiliares como sistemas compostos por painéis e equipamentos diversos, supridos em corrente alternada e contínua, necessários ao perfeito funcionamento e continuidade operativa de instalações de geração, transmissão ou distribuição de energia elétrica.

No projeto CE328-E-403 Arranjo do Edifício de Comando (**Anexo 2**), da Firminópolis Transmissão, depreende-se que os painéis de proteção, comando, controle e supervisão do vão da LT 230 kV Trindade – Firminópolis estão localizados na porção central da casa de comando. Entre os painéis elétricos dos serviços auxiliares da transmissora está o **Quadro de Serviço Auxiliar em Corrente Alternada – QSA CA (QD1)**, que dispõe de três fontes distintas de alimentação. Atendendo ao disposto no submódulo 2.6 dos Procedimentos de Rede do ONS [2], são duas fontes principais de alimentação, sendo uma interna e outra externa, além de uma fonte reserva. O suprimento dos serviços auxiliares em corrente alternada é monitorado por multimedidores (MMF's) instalados no QD1 sendo, em ordem de prioridade:

- ✓ **MMF1:** Terciário do banco de autotransformadores ATR1 500/230/13,8kV, que alimenta o transformador de serviço auxiliar TSA1 13,8/0,380-0,220kV;
- ✓ **MMF2:** Rede de distribuição aérea da concessionária local (Equatorial Energia), em 34,5 kV, através do transformador de serviço auxiliar TSA2 34,5/0,380-0,220kV;
- ✓ **MMF3:** Grupo motor-gerador à diesel (GMG).

Ao lado do QSA CA (QD1) encontra-se o **Painel de Serviço Auxiliar em Corrente Contínua (QD2)**, com dois barramentos internos supridos por dois conjuntos de retificador e banco de baterias chumbo-ácido selada em **125Vcc** (volts em corrente contínua), para funcionamento dos sistemas de proteção, controle e supervisão.

Outro sistema em corrente contínua existente na instalação é o de **48Vcc**, composto por dois conjuntos de baterias do tipo VRLA (chumbo-ácidas reguladas a válvula) e retificadores para o painel de telecomunicações.

3.3. Levantamento da Carga de Corrente Alternada

Entender as cargas elétricas dos serviços auxiliares da Firminópolis é crucial para se dimensionar os equipamentos que irão compor o sistema de energia emergencial proposto.

Mamede Filho [1] define que o serviço auxiliar em corrente alternada (CA) é aquele que deve fornecer tensão alternada nos terminais de um certo número de cargas, tais como iluminação e tomadas da casa de comando, iluminação de pátio de manobra, motores para operação de chaves e disjuntores etc.

O vão de entrada da LT 230 kV TRINDADE-FIRMINOPOLIS na subestação Trindade, conforme projeto CE328-E-203 (**Anexo 3**), é composto pelos seguintes equipamentos:

- 03 (três) Chaves Seccionadoras (Tripolar) sem lâmina de terra;
- 01 (uma) Chave Seccionadora (Tripolar) com lâmina de terra;
- 03 (três) Isoladores de Pedestal;
- 01 (um) Disjuntor (Tripolar);
- 03 (três) Transformadores de Corrente;
- 03 (três) Transformadores de Potencial Capacitivo;
- 03 (três) Para-raios;

No memorial de cálculo dos serviços auxiliares em CA, documento CE328-C-XXX Memorial Cálculo Serviços Auxiliares CA R1 (**Anexo 4**), verifica-se que o somatório das **cargas para atendimento ao vão da LT 230 kV TRINDADE-FIRMINOPOLIS é igual a 32kVA**, conforme reproduzido na **Tabela 2** a seguir.

Ao explicar sobre o dimensionamento das fontes do serviço auxiliar para subestações de alta tensão, João Mamede [1] pondera que as cargas em corrente alternada devem ser cuidadosamente selecionadas e podem ser agrupadas, a critério do projetista, nos seguintes conjuntos:

a) Cargas essenciais permanentes (P)

São aquelas imprescindíveis ao funcionamento da subestação e que operam continuamente, como retificadores, iluminação e climatização da sala dos painéis, casa do grupo motor gerador (GMG) e sala de baterias.

b) Cargas essenciais intermitentes (I)

São aquelas acionadas em intervalos aperiódicos de tempo. Exemplo: ventilação forçada do transformador de potência, iluminação de pátio, sistema de preaquecimento do óleo do GMG.

c) Cargas essenciais eventuais (E)

São aquelas consideradas essenciais ao funcionamento da subestação e que são acionadas eventualmente. Exemplo: bobina de fechamento e motor de carregamento de mola das chaves seccionadoras e disjuntores, iluminação e tomada de armário do transformador de potência, tomadas do pátio de manobra, tomadas, copa, banheiro e vestuário da casa de comando.

d) Cargas não essenciais permanentes

São aquelas consideradas não essenciais ao funcionamento da subestação, mas quando utilizadas operam continuamente, tais como Circuito Fechado de Televisão (CFTV) e tomadas para geladeira e similares.

e) Cargas não essenciais eventuais

São aquelas consideradas não essenciais ao funcionamento da subestação, mas quando utilizadas operam eventualmente. Exemplo: tomada de pátio para alimentação do filtro de óleo do transformador.

Além dos grupos descritos anteriormente, as cargas dos serviços auxiliares precisam ainda serem classificadas em dois tipos:

- Cargas simultâneas essenciais

São cargas essenciais que operam de forma simultânea, como as cargas dos retificadores, iluminação da sala de painéis da casa de comando etc.

- Cargas simultâneas essenciais e não essenciais

São cargas essenciais e não essenciais que operam de forma simultânea, como as cargas dos retificadores, sistema de climatização da casa de comando etc.

O projetista da Firminópolis Transmissão, porém, classificou todas as cargas dos serviços auxiliares em CA como cargas essenciais. Diante disso, foi proposta, com base nas considerações de João Mamede Filho, a classificação das cargas a serem alimentadas pelo sistema de energia emergencial conforme demonstrado na **Tabela 3**.

Tabela 2 – Cargas instaladas para o atendimento ao vão da LT 230kV Trindade – Firminópolis na SE Trindade

EQUIPAMENTOS DE PÁTIO 230 kV									
Equipamento		Tipo de Carga	Pot. Unit.		Tensão	Fator Potência	Potência Aparente		
Descrição	Qtde		Qtde	VA	Vca		Total	F. Demanda	Demanda
Chave Seccionadora (Tripolar) sem lâmina de terra	3	Iluminação do armário	1	20	220	0,92	65	1,00	65
		Resistor aquecimento	1	60	220	1,00	180	1,00	180
		Tomada do armário de comando	1	300	220	1,00	900	1,00	900
Chave Seccionadora (Tripolar) com lâmina de terra	1	Iluminação do armário (lâmina principal)	2	20	220	0,92	43	1,00	43
		Resistor aquecimento (lâmina principal)	1	60	220	1,00	60	1,00	60
		Iluminação do armário (lâmina de terra)	2	40	220	0,92	87	1,00	87
		Resistor aquecimento (lâmina de terra)	1	50	220	1,00	50	1,00	50
		Tomada do armário de comando	1	300	220	1,00	300	1,00	300
Disjuntor (Tripolar)	1	Resistor aquecimento (acionamento)	3	160	220	1,00	480	1,00	480
		Resistor aquecimento (comando)	1	160	220	1,00	160	1,00	160
		Iluminação dos armários de acionamento	3	20	220	0,92	65	1,00	65
		Iluminação do armário de comando	2	20	220	0,92	43	1,00	43
		Tomada dos armários de acionamento	3	300	220	1,00	900	1,00	900
		Tomada do armário de comando	1	300	220	1,00	300	1,00	300
Transformador de Corrente	1	Resistor aquecimento na caixa interligação	2	25	220	1,00	50	1,00	50
Transformador de Potencial	1	Resistor aquecimento na caixa interligação	2	25	220	1,00	50	1,00	50
Iluminação Pátio	1	Iluminação de Pátio Projetores 250W	5	250	220	1,00	1.250	1,00	1.250
Tomadas Pátio	1	Tomada de Pátio Monofásicas	1	2.000	220	1,00	2.000	0,20	400
Tomadas Pátio	1	Tomada de Pátio Trifásicas	1	4.000	380	1,00	4.000	0,20	800
TOTAL DAS CARGAS NORMAIS PARA EQUIPAMENTO DE PÁTIO 230 kV									6.184 VA

Continuação da página anterior...

TOTAL DAS CARGAS NORMAIS PARA EQUIPAMENTO DE PÁTIO 230 kV	6.184 VA
--	-----------------

CASA DE COMANDO E CONTROLE									
Equipamento		Tipo de Carga	Pot. Unit.		Tensão	Fator Potência	Potência Aparente		
Descrição	Qtde		Qtde	VA	Vca		Total	F. Demanda	Demanda
Quadro Distribuição Casa Comando	1	Iluminação Interna	23	64	220	0,96	1.533	0,80	1.227
	1	Iluminação Externa	8	32	220	0,96	267	0,50	133
	1	Tomadas	32	300	220	0,92	10.435	0,20	2.087
	1	Ar-condicionado 18.000 BTU's*	6	1.870	220	0,90	12.467	0,50	6.233
	1	Chuveiro	1	5.600	220	1,00	5.600	0,40	2.240
	1	Bomba d'água	1	746	220	0,86	867	0,40	347
Painéis Comando e Controle	8	Tomadas/Iluminação Painéis S. Aux / SPCS /Telecom	1	260	220	1,00	2.080	1,00	2.080
Retificadores 125 Vcc	2	Retificadores de 125 Vcc**	1	7.500	380	0,92	16.304	0,50	8.152
Retificadores 48 Vcc	2	Retificadores de 48 Vcc**	1	3.000	220	0,92	6.522	0,50	3.261
TOTAL DAS CARGAS NORMAIS PARA A CASA DE COMANDO E CONTROLE									25.760 VA

* Existem seis aparelhos, porém apenas três funcionam simultaneamente. Os demais são reservas.

** Existem dois retificadores de 125Vcc e dois de 48Vcc, sendo um principal e outro reserva.

SOMATÓRIA DAS CARGAS NORMAIS INSTALADAS PARA ATENDIMENTO AO VÃO LT 230 kV TRINDADE-FIRMINOPOLIS	31.945 VA
--	------------------

Tabela 3 – Cargas permanentes, intermitentes e eventuais para o atendimento ao vão da LT 230kV Trindade – Firminópolis na SE Trindade

Descrição	Carga Instalada (VA)	Cargas Essenciais (VA)			Cargas Não Essenciais (VA)		
		P	I	E	P	I	E
Carga de 03 (três) Chaves Seccionadoras sem lâmina de terra (230kV Tripolar)	1.145	180	0	0	0	0	965
Carga de 01 (uma) Chave Seccionadora com lâmina de terra (230kV Tripolar)	540	110	0	0	0	0	430
Carga de 01 (um) Disjuntor (230kV Tripolar)	1.949	640	0	0	0	0	1.309
Carga dos Transformadores de Corrente e Potencial (230kV Tripolar)	100	100	0	0	0	0	0
Carga dos Painéis de Proteção/Controle, Serviços Auxiliares e Telecom	2.080	2.080	0	0	0	0	0
Retificadores 125Vcc	8.152	8.152	0	0	0	0	0
Retificadores 48Vcc	3.261	3.261	0	0	0	0	0
Casa de Comando - Iluminação e tomadas	3.447	3.447	0	0	0	0	0
Casa de Comando - Ar-Condicionado	6.233	6.233	0	0	0	0	0
Casa de Comando - Chuveiro	2.240	0	0	0	0	0	2.240
Casa de Comando - Bomba d'água	347	0	0	0	0	347	0
Pátio 230kV - Iluminação	1.250	0	1.250	0	0	0	0
Pátio 230kV - Tomadas	1.200	0	0	0	0	0	1.200
TOTAL DAS CARGAS INSTALADAS	31.945 VA	24.203	1.250	0	0	347	6.144
ESSENCIAIS E NÃO ESSENCIAIS		25.435 VA			6.491 VA		

3.4. Medições de campo das Cargas de Corrente Alternada

Corroborando com os dados encontrados nos projetos executivos, a equipe de P&D realizou levantamento de campo das diversas grandezas elétricas no barramento CA dos serviços auxiliares da transmissora, através da instalação de um equipamento de medição com memória de massa.

Para a coleta dos dados foi utilizado um Analisador de Qualidade de Potência e Energia Trifásico, da Marca Fluke, modelo 435-II, de propriedade da Universidade Federal de Goiás. O serviço foi realizado com a autorização da diretoria técnica da Firminópolis. O analisador ficou instalado na barra principal do Quadro de Serviços Auxiliares – QSA CA entre os dias 09 e 27 de março de 2023. Sua instalação e retirada foram programadas junto ao Centro de Operação de Sistemas Elétricos (COS) e acompanhadas em campo pela equipe de Operação e Manutenção.

O equipamento foi parametrizado para registrar, a cada 1 minuto, as medidas de tensões e correntes, assim como seus ângulos, potências aparente, ativa e reativa, fator de potência, taxa de distorção harmônica entre outras. A **Tabela 4** mostra os valores mínimos, médios e máximos das potências elétricas registradas ao longo do período medido, sendo suas dispersões apresentadas no **Gráfico 1**.

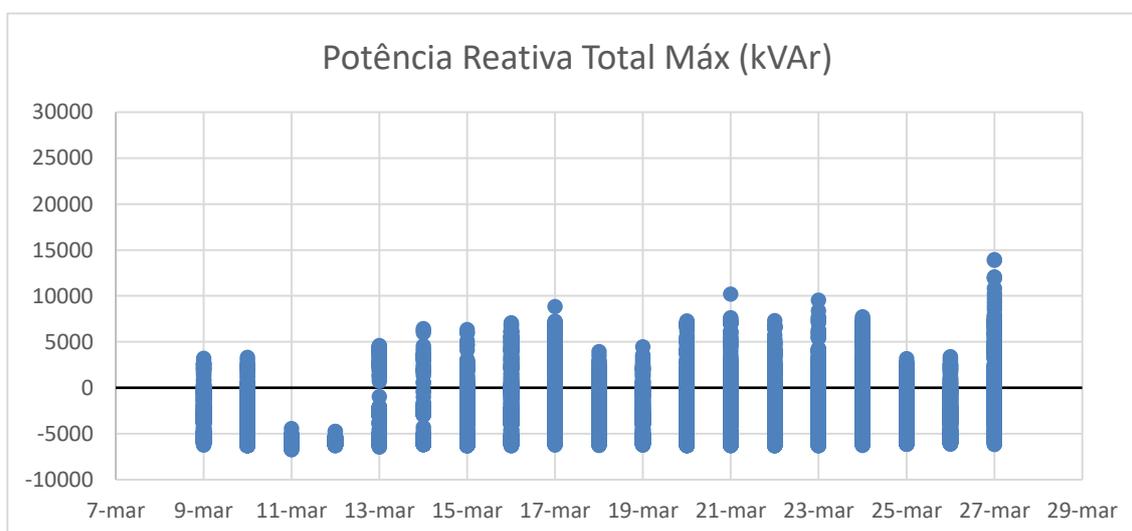
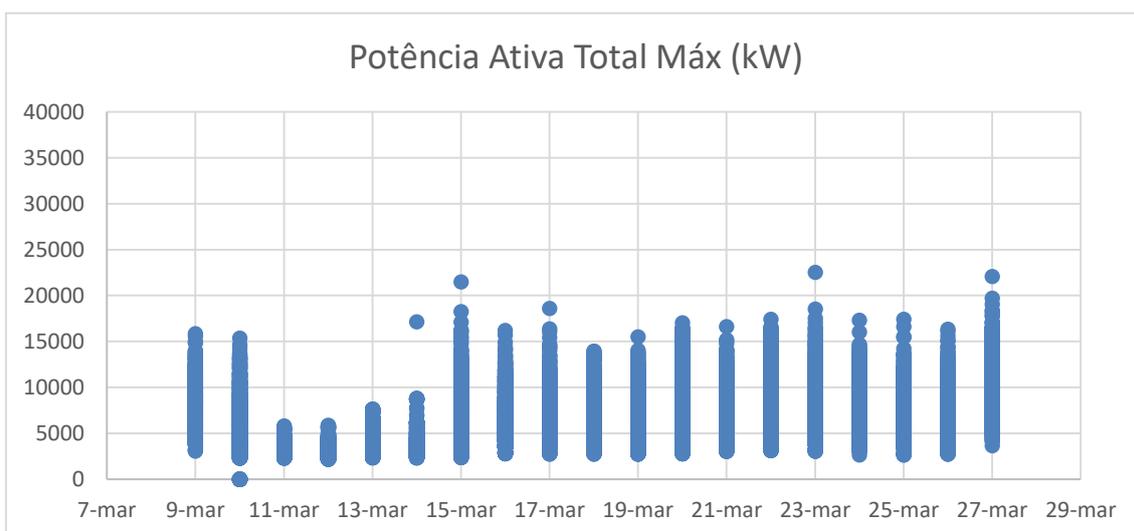
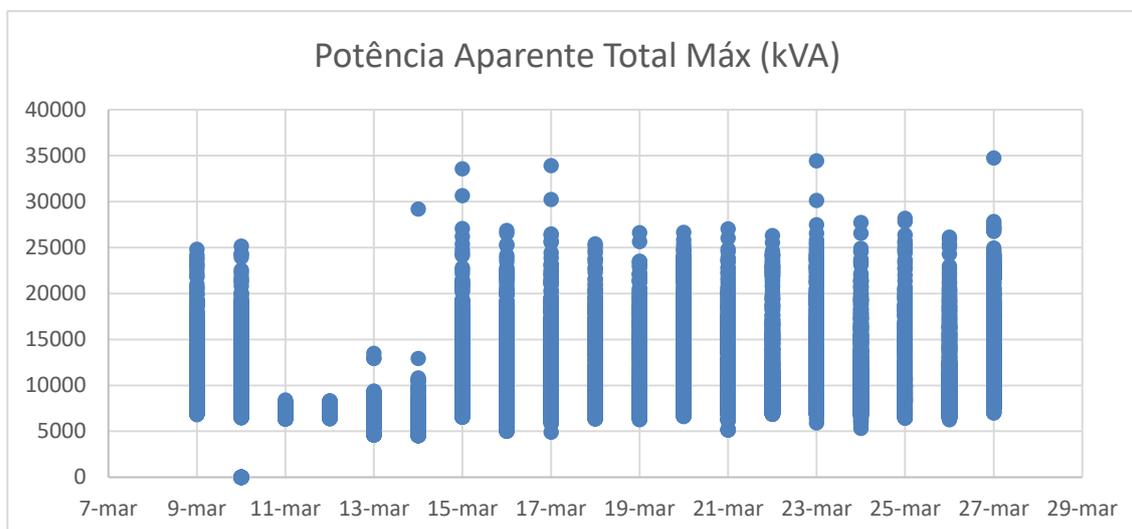
Tabela 4 – Potências elétricas e fator de potência medidos em campo

Grandeza	Unid.	Mínimo*	Médio	Máximo
Potência Aparente Total	VA	4.080	8.519	34.770
Potência Ativa Total	W	1.350	5.501	22.530
Potência Reativa Total	VAr	-6.900	-4.221	13.950
Fator de Potência	pu	0,24	0,63	0,97

* Valor mínimo diferente de zero

Foi observada uma ampla variação na potência aparente total (kVA), com registros entre 4,08 kVA e 34,77 kVA. Essa variação indica flutuações significativas na demanda de potência instantânea da instalação. Cabe ressaltar ainda que, no dia 10 de março, valores zerados de potência instantânea, que indicam ausência de alimentação CA nos serviços auxiliares, foram desprezados para a seleção do valor mínimo de potência no período.

Gráfico 1 – Dispersão dos registros diários das potências elétricas



Além disso, os valores da potência ativa total (kW) também apresentaram variações notáveis, entre 1,35 kW a 22,53 kW. Essa faixa de variação reflete a diversidade nas cargas conectadas ao sistema elétrico, podendo ser atribuída a mudanças nas demandas de energia ao longo do tempo.

No que diz respeito à potência reativa total (kVAr), os registros mostram uma variação de -6,90 kVAr a 13,95 kVAr. Essa variação pode ser resultado da presença de componentes indutivos ou capacitivos nas cargas conectadas, que influenciam a troca de energia entre a fonte e a carga.

Por fim, o fator de potência, que é a relação entre a potência ativa e a potência aparente, apresentou valor mínimo de 0,24 e máximo de 0,97 no período. Esses valores indicam a eficiência do sistema elétrico em utilizar a energia fornecida de forma útil, sendo desejável um fator de potência próximo a 1 para minimizar perdas de energia.

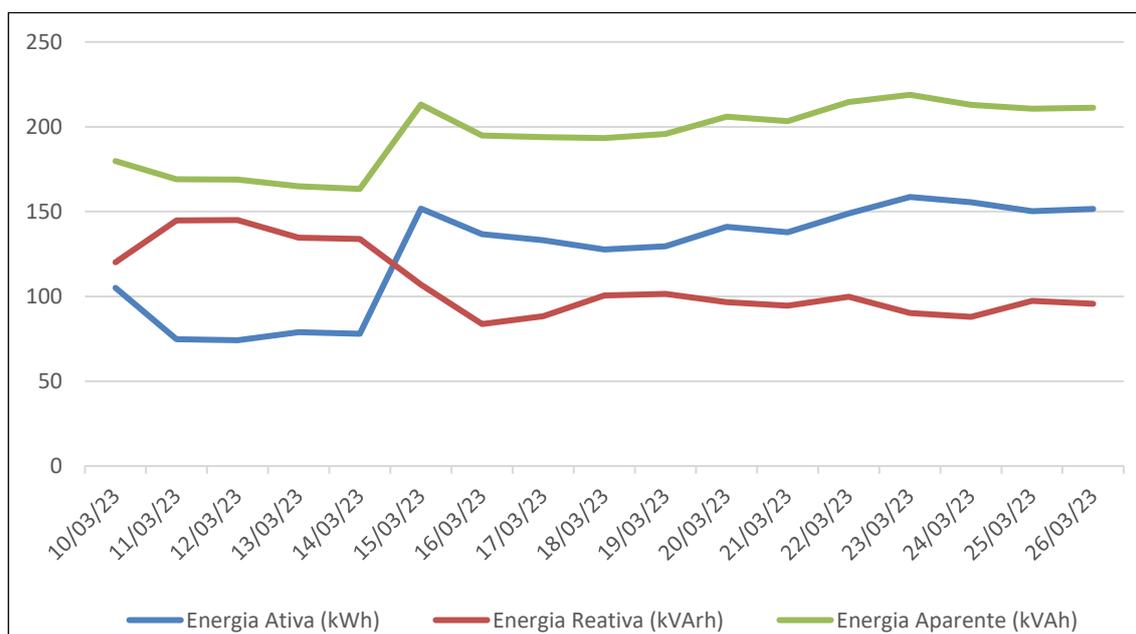
Os dados diários de energia ativa, reativa e aparente registrados pelo analisador encontram-se na **Tabela 5** e sua representação gráfica se apresenta no **Gráfico 2**. Observam-se variações também significativas das três grandezas ao longo de 15 dias de coleta. Sendo de interesse para esse estudo os valores diários acumulados de energia, os dados coletados durante o primeiro e o último dia de medição foram desprezados por não apresentarem medições para as 24 horas diárias.

Da Tabela 5 a seguir verifica-se que os valores de energia ativa diária variaram de 74 kWh (em 12/03/23) a 159 kWh (em 23/03/23), tendo como média do período aferido o valor de 125 kWh. Para os valores da energia reativa diária, o mínimo registrado foi 84 kVArh (em 16/03/23), o máximo foi 145 kVArh (em 11/03/23) e a média do período foi 107 kVArh. A energia reativa circula continuamente entre os diversos campos elétricos e magnéticos de um sistema de corrente alternada, sem produzir trabalho, expressa em quilovolt-ampère-reactivo-hora (kVArh). Valores elevados de energia reativa podem indicar um baixo fator de potência, o que pode resultar em perdas de energia. Por fim, a energia aparente diária registrada pelo analisador foi no mínimo 163 kVAh (em 14/03/23) e no máximo 219 kVAh (em 23/03/23). A média dos registros foi de 195 kVAh. Essas variações indicam a presença de mudanças significativas na demanda e no consumo de energia ao longo do período analisado.

Tabela 5 – Valores diários de energia consumida medidas em campo

Data do Registro	Ativa (kWh)	Reativa (kVAr)	Aparente (kVA)
10/03/23	105	120	180
11/03/23	75	145	169
12/03/23	74	145	169
13/03/23	79	135	165
14/03/23	78	134	163
15/03/23	152	107	213
16/03/23	137	84	195
17/03/23	133	88	194
18/03/23	128	101	193
19/03/23	130	102	196
20/03/23	141	97	206
21/03/23	138	95	203
22/03/23	149	100	215
23/03/23	159	90	219
24/03/23	155	88	213
25/03/23	150	97	211
26/03/23	152	96	211
Máximo	159	145	219
Médio	125	107	195
Mínimo	74	84	163

Gráfico 2 – Energia Ativa, Reativa e Aparente durante o período de medições de campo



O Gráfico 2, mostrado anteriormente, ilustra a variação da energia ativa, reativa e aparente ao longo do tempo, destacando as variações discutidas anteriormente. Essa representação visual oferece uma perspectiva clara das tendências e mudanças dessas medidas no decorrer do período de aquisição de dados.

3.5. Levantamento da Carga de Corrente Contínua

Nas subestações, muitos equipamentos requerem uma fonte de alimentação em corrente contínua (CC) para operar, como bobinas de abertura e fechamento e motores de acionamento de disjuntores e chaves seccionadoras. Além disso, em casos de falha nas fontes de corrente alternada da subestação, é essencial ter um backup de energia para garantir a continuidade dos serviços até que o sistema seja restaurado.

Na instalação em questão, os serviços auxiliares em CC são compostos por:

- QSA-CC (QD2) – Quadro dos serviços auxiliares em corrente contínua;
- Banco de baterias de 125 Vcc / 125 Ah;
- Retificador-carregador 380/220 Vca – 125 Vcc;

João Mamede [1] classifica as cargas em corrente contínua em dois tipos:

a) Cargas permanentes

São aquelas que consomem energia continuamente durante o ciclo de emergência, como iluminação de emergência e painéis de supervisão, comando e controle.

b) Cargas temporárias

São aquelas que consomem energia apenas em momentos específicos durante o ciclo de emergência, como disjuntores e chaves seccionadoras.

Adotando essa mesma metodologia de classificação, as cargas permanentes em corrente contínua dos serviços auxiliares do vão da Firminópolis na subestação Trindade estão apresentadas na **Tabela 6**. As cargas temporárias, por sua vez, estão listadas na **Tabela 7**. Em ambas as tabelas, as correntes nominais foram calculadas a partir das potências nominais das cargas e da tensão nominal do banco de baterias, 120 Vcc, conforme dados de placa.

Tabela 6 – Cargas Permanentes em CC

Descrição	Qtde (unid.)	Carga Unit. (W)	Total (W)
Iluminação de emergência	1	400	400
Painel vão de linha (principal) PPCFIR	1	250	250
Painel vão de linha (alternada) PACFIR	1	250	250
Painel Supervisão Serv. Aux. PSA	1	150	150
Painel de Controle e Sup. IHM/Sage PSAGE	1	250	250
Painel Serv. Aux. 380/220Vca QD1	1	150	150
Painel de Inverface Goiás/Firminópolis	1	100	100
Painel de Telecom	1	45	45
Controle do GMG	1	50	50
Potência Cargas Permanentes =			1.645
Corrente de Carga Permanente = I_{cp} =			13,71 A

Tabela 7 – Cargas Temporárias em CC

Descrição	Qtde (unid.)	Carga Unit. (W)	Total (W)
Abertura DJ 230 kV	2	440	880
Fechamento DJ 230 kV	1	440	440
Motor carregamento da mola do DJ 230kV	1	750	750
Condição crítica de abertura			
Corrente de abertura DJ 230 kV = I_{ad} =			7,33 A
Condição crítica de fechamento			
Corrente de fechamento + carregamento mola DJ 230 kV = I_{fd} =			9,92 A

Conforme especificado pelo ONS nos Procedimentos de Rede [2], os serviços auxiliares devem ser providos de dois conjuntos de baterias, cada um com autonomia de 300 minutos (5 horas).

O ciclo de emergência é definido em três etapas e, para cada uma delas, são exigidas cargas específicas das baterias. São elas:

Etapa 1: Nesse estágio, ocorre a situação de emergência com atuação das proteções, interrompendo a alimentação em corrente alternada nos retificadores. Para efeitos de cálculo, considera-se a duração dessa etapa de 1 minuto, atuando as seguintes cargas:

- Cargas permanentes do serviço auxiliar em corrente contínua;
- Cargas temporárias (abertura do disjuntor de 230 kV).

Logo, a corrente de carga nessa etapa vale:

$$I_1 = I_{cp} + I_{ad} = 13,71 + 7,33 = \mathbf{21,04 \text{ A}}$$

Etapa 2: De forma subsequente inicia-se o período da emergência intermediária, com duração de 298 minutos. Nessa etapa, são consideradas apenas as cargas permanentes do serviço auxiliar em corrente contínua.

Logo, a corrente de carga nessa etapa vale:

$$I_2 = I_{cp} = \mathbf{13,71 \text{ A}}$$

Etapa 3: É o período de restabelecimento total dos serviços auxiliares, com duração estipulada de 1 minuto. Aqui são consideradas as seguintes cargas:

- Cargas permanentes do serviço auxiliar em corrente contínua;
- Cargas temporárias (fechamento do disjuntor de 230 kV).

Logo, a corrente de carga nessa etapa vale:

$$I_3 = I_{cp} + I_{fd} = 13,71 + 9,92 = \mathbf{23,63 \text{ A}}$$

Por fim, para se determinar a capacidade de carga do banco de baterias de Firminópolis, adota-se o método de Hoxie, com cálculo dado pela Equação (3.1). Nela, os valores das constantes K1, K2 e K3 são determinadas a partir da curva de descarga do fabricante das baterias e os valores das correntes

$$C = K_1 \cdot I_1 + K_2 \cdot (I_2 - I_1) + K_3 \cdot (I_3 - I_2) \quad \mathbf{(3.1)}$$

Assim, considerando-se um fator de envelhecimento das baterias de 10% e um fator de temperatura para 35 graus, encontra-se um banco comercial de 125 Ah.

Por fim, os retificadores devem ter capacidade de alimentar simultaneamente a carga permanente em corrente contínua e a carga do banco de baterias em regime de flutuação. Logo, a capacidade nominal do retificador (I_r) é dada pela **Equação (3.2)**.

$$I_r = I_{cp} + \frac{K \cdot C_n}{T_r} \quad \mathbf{(3.2)}$$

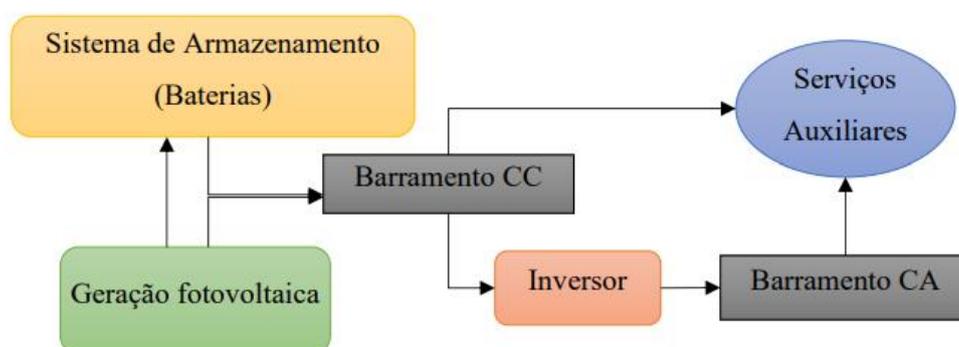
Na Equação (2), I_{cp} é a corrente permanente, K é uma constante igual a 1,10 para baterias chumbo-ácidas e T_r é o tempo de carregamento do banco, adotado 10 horas nesse caso. Assim, o valor comercial adotado para o retificador-carregador foi de 35 A.

4. REVISÃO DE LITERATURA

Oliveira [3], destaca a importância de se manter a constante alimentação dos serviços auxiliares de uma subestação para a operação continuada dos sistemas elétricos de potência. Seu trabalho propõe um modelo de programação linear inteira mista para o dimensionamento ótimo de micro redes de backup compostas por sistemas de geração fotovoltaica e armazenamento em baterias. Busca-se garantir a robustez necessária para o funcionamento adequado dos serviços auxiliares durante períodos prolongados de falhas nas fontes principais de fornecimento, com foco em minimizar os custos de investimento e reduzir ao máximo a indisponibilidade da subestação.

No modelo proposto, a microrrede é definida como única fonte de backup disponível para a subestação durante as falhas. Seu funcionamento, ilustrado pelo diagrama da **Figura 3**, considera que sistema fotovoltaico e banco de baterias injetam energia no barramento CC e, a partir desse ponto, é possível alimentar as cargas dos serviços auxiliares em CC ou direcionar a energia para o inversor, que alimenta o barramento CA.

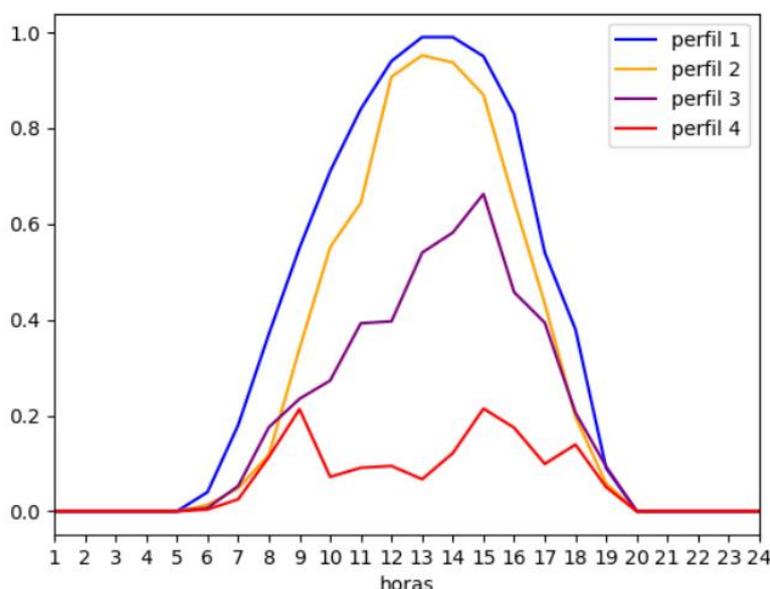
Figura 3 – Diagrama operacional da microrrede



Fonte: Oliveira [3]

O problema de otimização a ser resolvido considera uma abordagem estocástica para os cenários que determinam o horário e a duração de uma falha assim como para os cenários de quatro perfis distintos de geração fotovoltaica, conforme ilustrado na **Figura 4**.

Figura 4 – Perfis de geração fotovoltaica



Fonte: Oliveira [3]

É assumido que, no momento da falha, as baterias estão completamente carregadas. A quantidade de energia disponível no banco no início da falha é descrita pela **Equação (4.1)**.

$$E_{s,t,k}^b = (1 - Dod) \cdot C_n \cdot N_b - \Delta t \cdot n^{-1} \cdot P_r + \Delta t \cdot \alpha_{s,t,k} + \Delta t \cdot PV_{s,t,k}; \forall s \in \Omega_s, \forall k \in \Omega_k, t \quad (4.1)$$

Em relação ao cálculo do tempo de indisponibilidade da subestação, o autor considera uma distribuição normal truncada e utiliza como referência a média estimada da duração de falhas críticas em subestações no Brasil. Dessa forma, cada cenário de falha assim como cada perfil de geração tem uma probabilidade associada.

Por fim, a Função Objetivo (FO), a qual pretende-se minimizar, é dada pela **Equação (4.2)**, onde C_b representa o custo para adquirir um módulo de bateria, N_b representa a quantidade

de baterias, C_{PV} o custo de adquirir um painel fotovoltaico, N_{PV} a quantidade de painéis fotovoltaicos, C_m custos de manutenção da micro rede e M a multa por indisponibilidade.

$$\text{minimizar } FO = C_b \cdot N_b + C_{PV} \cdot N_{PV} + C_m + M \quad (4.2)$$

Foram realizadas 288 simulações variando-se o horário inicial da falha, sua duração e perfil de geração fotovoltaica. Dois deles foram escolhidos: os cenários 95 e 239. Ambos têm 11 horas de duração de falha, onde no cenário 95 tem-se alta geração fotovoltaica (ocorre no período das 8h00 até 19h00) e no 239 a geração fotovoltaica é baixa (ocorre entre 20h00 e 7h00). Nos dois casos foram considerados diferentes perfis de geração fotovoltaica e limites de investimento para avaliar o comportamento do sistema de baterias.

No cenário 95, que apresenta alta geração fotovoltaica durante o dia, os resultados mostraram que, com um limite de investimento de 10.000 USD, a energia armazenada nas baterias não é suficiente para suprir a demanda dos sistemas auxiliares após o primeiro período de falha, resultando em indisponibilidade da subestação. Porém, com um aumento no limite de investimento de 40.000 USD, a capacidade de armazenamento das baterias foi aumentada, permitindo períodos mais longos de suprimento de energia, embora ainda tenha havido alguns momentos de indisponibilidade, especialmente no perfil com menor geração fotovoltaica. Para um limite de investimento de 80.000 USD, a microrrede foi capaz de suprir a demanda de energia durante todo o período de falha, sem ocorrer indisponibilidade da subestação nos quatro perfis de geração fotovoltaica.

No cenário 239, que apresenta baixa geração fotovoltaica durante a noite, os resultados mostraram que o sistema de baterias desempenhou um papel fundamental na suplementação da demanda de energia. A dependência da capacidade das baterias aumentou, uma vez que a geração fotovoltaica foi reduzida. Com um limite de investimento de 10.000 USD, a energia provida aos sistemas auxiliares não foi suficiente, resultando na indisponibilidade da subestação. Com um investimento maior de 40.000 USD, a microrrede operou nos primeiros seis períodos, mas ficou fora de operação nos demais. Mesmo com um limite de investimento de 80.000 USD, houve momentos em que a microrrede não conseguiu suprir toda a demanda dos serviços auxiliares.

Em todos os casos, a falta de geração fotovoltaica afetou a capacidade da microrrede de fornecer energia de forma contínua. Em ambos os cenários, observou-se que um aumento no investimento na microrrede levou a uma redução nas horas de indisponibilidade da subestação. Além disso, verificou-se que a escolha adequada dos perfis de geração fotovoltaica pode influenciar o desempenho do sistema de baterias e a capacidade de suprir a demanda de energia durante as falhas. Esses resultados destacam a importância do dimensionamento correto do banco de baterias e do investimento adequado na microrrede para garantir uma operação confiável e minimizar a indisponibilidade da subestação.

Os resultados do estudo indicam que um maior investimento resulta em uma multa por indisponibilidade reduzida. Além disso, foi evidenciado que as baterias têm uma prioridade maior em relação aos painéis fotovoltaicos. Por fim, constatou-se que, após atingir um determinado limite de investimento, não é viável adicionar mais baterias ou painéis fotovoltaicos, optando-se pela aplicação da multa por indisponibilidade.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. Mamede Filho, “Subestações de Alta Tensão”, LTC, 1ª Edição, Rio de Janeiro, 2021.
- [2] Operador Nacional do Sistema Elétrico, “Submódulo 2.6 - Requisitos mínimos para subestações e seus equipamentos”, ONS, Brasília, Brasil, 2021. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-ons/procedimentos-de-rede/vigentes>
- [3] L. G. L. Oliveira Modelo matemático para o dimensionamento ótimo de uma microrrede para suprir a demanda de serviços auxiliares de subestações em períodos de falhas. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho", Faculdade de Engenharia, Campus de Ilha Solteira, 2022. 41 páginas. Orientador: Prof. Dr. John Fredy Franco Baquero.
- [4] Agência Nacional de Energia Elétrica, “Chamada Nº 021/2016 Projeto Estratégico: Arranjos Técnicos e Comerciais para a Inserção de Sistemas de Armazenamento de Energia no Setor Elétrico Brasileiro”, ANEEL, Brasília, Brasil, 2016. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br>
- [5] Empresa de Pesquisa Energética, “Nota Técnica EPE-DEE-NT-098/2019-r0 Sistemas de Armazenamento em Baterias – Aplicações e Questões relevantes para o Planejamento”, EPE e MME, Brasília, Brasil, 2019. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-441/EPE-DEE-NT-098_2019_Baterias%20no%20planejamento.pdf
- [6] M. N. Bousquet, “Pesquisa bibliográfica sobre a utilização de armazenamento de energia em baterias de íons de lítio e de geração fotovoltaica como fonte complementar para subestações de transmissão de energia elétrica”, apresentado na disciplina de Metodologia Científica do Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica e de Computação (PPGEEC) da Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia, Goiás, Brasil, 2022.
- [7] W. W. Teixeira, G. F. Rissi, G. Cunha, J. Xavier, C. Dallorto, “Caminhos para a Inserção de Sistemas de Armazenamento de Energia na Expansão do Setor Elétrico Brasileiro: Uma Análise de Potenciais Benefícios e Obstáculos”, Grupo de Estudo de Geração Eólica, Solar e Armazenamento-GES, apresentado no XXV SNTPEE Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Belo Horizonte, Brasil, 2019. Disponível em: <http://www.bvr.com.br/sntpee/xxvsntpee/trabalhos/GES/4026.php>
- [8] M. F. N. C. Rosolem, R. F. Beck, J. C. M. S. Aranha, T. C. Nascimento, F. L. R. Marques, V. Corso, G. M. Contin, R. S. Figueredo, H. B. Morari, “Desenvolvimento de Bateria de Lítio-Íon para Serviços Ancilares”, apresentado no VIII Congresso Brasileiro de Energia Solar, Fortaleza, Brasil, 2020. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/910>

6. LISTA DE ANEXOS

Anexo 01 – Coletânea das ATAS PEDGOT 009 a 010-2023

Anexo 02 – CE328-E-403 Arranjo do Edifício de Comando

Anexo 03 – CE328-E-203 Corte 230kV vão LT Firminópolis C1

Anexo 04 – CE328-C-XXX Memorial Cálculo Serviços Auxiliares CA R1