



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

IGOR NERY ROMEIRO

**ANÁLISE DO PERFIL DE TENSÃO E CARREGAMENTO DE UMA REDE DE
DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA - ESTUDO DE CASO DA ILHA DE FERNANDO DE
NORONHA**

Recife
2023

IGOR NERY ROMEIRO

**ANÁLISE DO PERFIL DE TENSÃO E CARREGAMENTO DE UMA REDE DE
DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA - ESTUDO DE CASO DA ILHA DE FERNANDO DE
NORONHA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Graduação em Engenharia
Elétrica da Universidade Federal de
Pernambuco, como requisito parcial para
obtenção do grau de Bacharel em Engenharia
Elétrica.

Orientador(a): Prof. Dr. José Filho da Costa Castro
Coorientador(a): MSc. Daniel Rodríguez López

Recife
2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Romeiro, Igor Nery.

Análise do perfil de tensão e carregamento de uma rede de distribuição de energia - Estudo de caso da ilha de Fernando de Noronha / Igor Nery Romeiro.

– Recife, 2023.

77 : il., tab.

Orientador(a): José Filho da Costa Castro

Coorientador(a): Daniel Rodríguez López

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Elétrica - Bacharelado, 2023.

Inclui referências, apêndices.

1. Distribuição de Energia. 2. Modelagem de Redes. 3. OpenDSS. 4. Fluxo de Potência. 5. Tensão. I. Castro, José Filho da Costa. (Orientação). II. López, Daniel Rodríguez. (Coorientação). III. Título.

620 CDD (22.ed.)

IGOR NERY ROMEIRO

**ANÁLISE DO PERFIL DE TENSÃO E CARREGAMENTO DE UMA REDE DE
DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA - ESTUDO DE CASO DA ILHA DE FERNANDO DE
NORONHA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Graduação em Engenharia
Elétrica da Universidade Federal de
Pernambuco, como requisito parcial para
obtenção do grau de Bacharel em Engenharia
Elétrica.

Aprovado em: 27/04/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Filho da Costa Castro (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

MSc. Daniel Rodríguez López (Coorientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Pedro André Carvalho Rosas (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Eduardo José Barbosa (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Este trabalho é dedicado primeiramente a Deus, sou eternamente grato a Ele por todas as bênçãos em minha vida e, também, aos meu pais, que me conceberam a oportunidade de poder ingressar na universidade Federal e me incentivaram durante toda a graduação.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus por me guiar e me iluminar durante toda jornada da minha graduação. Tudo que conquistei na minha vida é graças a Ele. Agradeço, também, a meus pais, Mlexener e Lisângela, que me apoiaram durante todo o curso e me forneceram toda base para ingressar na universidade. Em paralelo, a meus irmãos meu muito obrigado pela força durante o período. Gratidão a minha namorada que também me apoiou e foi compreensiva nos momentos mais difíceis da graduação.

Agradeço a todos os docentes durante minha formação e a meus colegas de curso que também foram importantíssimos. Em especial, meu muito obrigado ao professor José Filho, meu orientador da monografia, que contribuiu imensamente para meu desenvolvimento até esse momento, sendo sempre solícito e atencioso comigo, auxiliando tanto nas demandas acadêmicas quanto nos questionamentos profissionais.

Ao meu coorientador Daniel Rodríguez, quem tive a honra de trabalhar na Trader Energia. Muito obrigado por todo conhecimento repassado, pela disponibilidade de pontuar sugestões e correções no trabalho e pelo companheirismo profissional e pessoal.

Ao pesquisador Daniel Ferreira Lima, do CPQD, pelo compartilhamento de dados de modelagem. Grato a todos que contribuíram de alguma forma para o desenvolvimento deste trabalho.

Em seu coração, a engenharia é sobre usar a ciência para encontrar soluções criativas e práticas. É uma profissão nobre. (RAINHA ELIZABETH II).

RESUMO

Devido ao crescimento da geração distribuída, principalmente do tipo solar fotovoltaica, e, futuramente da inserção em larga escala de sistemas de armazenamento de energia por baterias, tem sido observado o aumento da complexidade da operação das redes de distribuição. Desta forma, estudos visando avaliar o carregamento dos ramais e o perfil de tensão em diferentes cenários, assim como analisar a conformidade de tensão em cada ponto da rede elétrica de média tensão, têm sido recorrentes. Neste contexto, este trabalho apresenta um estudo de caso visando uma análise referente à simulação de um sistema elétrico que representa a rede elétrica de distribuição da Ilha de Fernando de Noronha, utilizando o pacote computacional associado à plataforma OpenDSS. Será detalhada a modelagem dos componentes elétricos e estratégias de representação dos elementos, no contexto do ambiente de simulação de redes de médio porte, considerando a presença dos alimentadores, das cargas elétricas em cada ponto de conexão, um banco de baterias e os geradores fotovoltaicos que estão conectados às barras das linhas operando na tensão da rede de 13,8 kV. No trabalho são avaliados o perfil de tensão dos barramentos do sistema e a capacidade de carregamento da rede (circuitos dos ramais alimentadores e outros elementos). Um dos objetivos é formatar e consolidar uma base de dados da rede da Ilha da Fernando de Noronha, permitindo simular a presença de novos recursos energéticos no local.

Palavras-chave: Rede de distribuição; OpenDSS; Fluxo de potência; Tensão; Modelagem, Geração Distribuída.

ABSTRACT

Due to the growth of distributed generation, mainly photovoltaic solar, and in the future, the large-scale integration of battery energy storage systems, an increase in the complexity of the operation of distribution networks has been observed. Thus, studies aimed at evaluating the loading of branches and the voltage profile in different scenarios, as well as analyzing the voltage compliance at each point of the medium-voltage electrical network, have become recurring. In this context, this work presents a case study aiming at an analysis regarding the simulation of an electrical system that represents the distribution network of Fernando de Noronha Island, using the computational package associated with the OpenDSS platform. The modeling of the electrical components and representation strategies of the elements will be detailed in the context of the medium-sized network simulation environment, considering the presence of feeders, electric loads at each connection point, a battery bank, and photovoltaic generators that are connected to the busbars of the lines operating at the voltage of the 13.8 kV network. The work evaluates the voltage profile of the system busbars and the network's loading capacity (feeder branch circuits, transformers, among other elements). One of the objectives is to format and consolidate a database of the Fernando de Noronha Island network, allowing the simulation of the presence of new energy resources on site.

Keywords: Distribution network; OpenDSS; Power flow; Voltage; Modeling, Distributed Generation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução da Potência Instalada de GD no Brasil	15
Figura 2 - Esquematização da Estrutura de Suprimento do Sistema Elétrico	20
Figura 3 - Estrutura do Software OpenDSS	25
Figura 4 - Carga monofásica não linear	27
Figura 5 - Carga monofásica não linear representada por um Equivalente de Norton.....	28
Figura 6 - Carga monofásica com parcela linear representada como integrante da rede	28
Figura 7 - Interpretação de uma rede a ser analisada pelo OpenDSS.....	29
Figura 8 - Algoritmo de solução de fluxo de potência	31
Figura 9 - Representação Geográfica da Rede de Distribuição Elétrica de Fernando de Noronha	32
Figura 10 - Linhas com Maior Capacidade de Carregamento Médio Mensal em Janeiro de 2023	33
Figura 11 - Rede de Distribuição da Ilha com as Subestações de Potência	34
Figura 12 - Modelagem do Alimentador da Rede Elétrica.....	38
Figura 13 - Parâmetros do Alimentador	38
Figura 14 - Modelagem das Linhas de Distribuição.....	39
Figura 15 - Parâmetros Nominiais da Linha 792.....	39
Figura 16 - Modelagem da Carga 7012259942	40
Figura 17 - Parâmetros Nominiais da Carga 7012259942	41
Figura 18 - Modelagem dos Geradores Fotovoltaicos.....	42
Figura 19 - Modelagem do Sistema de Baterias BESS.	43
Figura 20 - Modelagem do Eletroposto "EP_1"	44
Figura 21 - Parâmetros Elétricos do "EP_1"	45
Figura 22 - Fluxo de Potência do Alimentador	46
Figura 23 - Tensão Obtida do Alimentador.....	47
Figura 24 - Histograma de Tensões das Barras	47
Figura 25 - Gráfico de Tensão das Barras do Sistema com Geradores Solares	48
Figura 26 - Fluxo de Potência do Gerador Fotovoltaico "FV1134"	49
Figura 27 - Fluxo de Potência do Banco de Baterias "BESS".....	49
Figura 28 - Gráfico de Tensão das Barras do Sistema sem Geradores Solares.....	50
Figura 29 - Sumário do Circuito Simulado	51

Figura 30 – Fluxo de Potência do Circuito Simplificado do Sistema contendo o Alimentador Principal.....	52
Figura 31 - Fluxo de Potência do Circuito Simplificado contendo o Gerador FV 4567	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Pontos de conexão em Tensão Nominal igual ou superior a 69 kV e inferior a 230 kV	22
Tabela 2 - Pontos de conexão em Tensão Nominal igual ou superior a 2,3 kV e inferior a 69 kV	22
Tabela 3 - Pontos de conexão em Tensão Nominal inferior a 2,3 kV (380/220)	22
Tabela 4 - Características Gerais da Rede de Distribuição Elétrica de Fernando de Noronha	33
Tabela 5 - Características Nominais dos Transformadores de Potência da Ilha.	35
Tabela 6 - Tipos/Modelos de Cargas	41
Tabela 7 - Dados do Circuito Simplificado da Figura 30 Extraído do Sistema	51
Tabela 8 - Dados do Circuito Simplificado da Figura 31 Extraído do Sistema	52
Tabela 9- Parâmetros das Linhas do Sistema Elétrico	57
Tabela 10 - Dados das Cargas do Sistema Elétrico	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABGD	Associação Brasileira de Geração Distribuída
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
GD	Geração Distribuída
OpenDSS	<i>Open Distribution System Simulator</i>
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
SEP	Sistema Elétrico de Potência
STC	Standard Test Conditions

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVO GERAL.....	17
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	18
2 REDES ELÉTRICAS E O SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO.....	19
2.1 SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA.....	19
2.2 DISTRIBUIÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA	20
2.2.1 Tensão de Regime Permanente.....	21
2.2.2 Fator de Potência	23
3 MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO.....	24
3.1 O <i>SOFTWARE</i> OPENDSS	24
3.1.1 Estruturação do Software.....	24
3.1.2 Utilização do OpenDSS no Contexto de Fluxo de Potência	25
3.1.2.1 <i>Corrente de Compensação</i>	27
3.1.2.2 <i>Algoritmo do Fluxo de Potência</i>	28
4 ESTUDO DE CASO – ANÁLISE DA REDE DA ILHA DE FERNANDO DE NORONHA	32
4.1 PARÂMETROS DE REPRESENTAÇÃO DA REDE ELÉTRICA DA ILHA	34
4.2 MODELAGEM DA REDE ELÉTRICA NO OPENDSS	36
4.2.1 Modelagem do alimentador	37
4.2.2 Modelagem das linhas de distribuição	38
4.2.3 Modelagem das Cargas.....	40
4.2.4 Modelagem dos Geradores Fotovoltaicos	42
4.2.5 Modelagem do Sistema de Baterias	43
4.2.6 Modelagem dos Carregadores de Veículos Elétricos	44
4.3 RESULTADOS IMPORTANTES DA SIMULAÇÃO.....	45
5 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE CONTINUIDADE.....	54

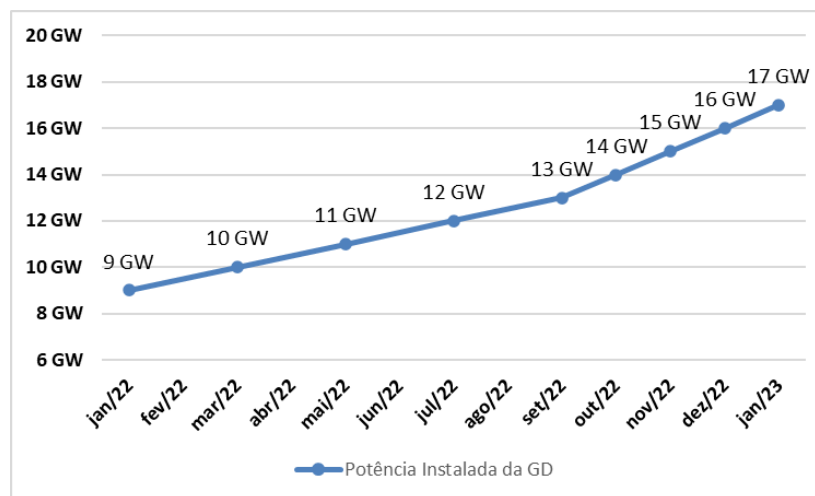
5.1 TRABALHOS FUTUROS	54
REFERÊNCIAS	56
APÊNDICES	57

1 INTRODUÇÃO

O sistema de distribuição de energia (SDE) elétrica é responsável por distribuir e fornecer energia elétrica com qualidade, confiabilidade e segurança aos consumidores finais, buscando minimizar as perdas técnicas de transporte nas linhas elétricas (linhas de transmissão, de distribuição e ramais alimentadores), bem como mitigar a ocorrência de interrupções mantendo a continuidade do fornecimento [1].

Portanto, além de manter a operação da rede confiável, as concessionárias de distribuição de energia devem analisar possíveis consequências geradas por conexões de novos empreendimentos e monitorar a capacidade de suprimento frente ao contínuo crescimento de carga. Diante desse contexto, é importante mencionar que o setor elétrico brasileiro sofreu alguns impactos e passou por algumas transformações com a intensificação da inserção das fontes de geração solar e eólica no sistema nacional. Por se tratarem de energias renováveis, essas fontes receberam incentivos com a finalidade de estimular suas implementações. No âmbito do sistema de distribuição, as fontes de geração distribuída (GD), ou seja, empreendimentos de geração de energia elétrica instaladas junto ou próximo à carga conectadas na rede de distribuição, ganharam força no cenário brasileiro. A Figura 1 apresenta o crescimento da potência instalada da GD no Brasil, cuja base de dados foi obtida da Associação Brasileira de Geração Distribuída (ABGD) [2].

Figura 1 - Evolução da Potência Instalada de GD no Brasil



Fonte: O autor.

A Resolução 482/2012 [3], já revogada, da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), garantia alguns benefícios como o modelo do autoconsumo remoto, no qual um consumidor recebe créditos de sua geração solar em uma ou mais de suas unidades sem ser cobrado pela injeção de potência excedente na rede. Porém, é válido destacar que o novo conjunto de regras estabelecido pelo Marco Legal da Geração Distribuída, lei 14.300/2022 de 07/01/2022 [4], promove algumas alterações na sistemática de incentivos, tal como a implantação de tarifas associadas ao uso da rede para novos acessantes participantes do tipo micro ou minigeração.

O crescimento da participação das fontes renováveis pode ser considerada um aspecto positivo para a matriz eletroenergética, uma vez que promove a descarbonização do sistema elétrico. Por outro lado, é necessário considerar os possíveis impactos das conexões dessas gerações nas redes elétricas. Alguns pontos devem ser questionados e estudados, como por exemplo: “há geração suficiente para suprir a potência adicional de novas instalações?”; “haverá aumento ou afundamento da tensão no barramento ao qual a geração ou cargas são conectadas?”; “o ramal de distribuição suportará novas conexões ou será necessário a realização de obras de reforço na rede para não comprometer a capacidade de carregamento da linha?”. Diante desses questionamentos, surge a necessidade de simular e analisar as consequências de novas conexões nas redes de distribuição, tais como usinas fotovoltaicas e sistemas armazenadores de energia.

Um dos possíveis impactos da conexão de geradores fotovoltaicos é a mudança da característica passiva da rede. Se antes da inserção da usina no ramal da rede de distribuição, o sistema em análise era constituído de subestações e cargas, após a ligação à rede elétrica há unidades geradoras com comportamento ativo. A rede pode apresentar fluxo de potência elétrica bidirecional. O fluxo reverso, isto é, oposto ao fluxo das subestações para as cargas pode provocar um funcionamento incorreto dos reguladores de tensão e dos dispositivos de proteção, gerando prejuízos para as distribuidoras e para os consumidores. Há também a possibilidade da ocorrência de sobretensões ao longo do alimentador na ocorrência do fluxo de potência reverso ocasionado pela presença dos geradores fotovoltaicos [5].

Outro desafio a ser analisado é a ligação dos carregadores veiculares (ou estações de recarga) nas redes de distribuição devido à crescente procura por veículos elétricos. Esse novo tipo de carga poderá resultar numa alteração das condições de operação da rede, com destaque para o aumento de potência demandada no horário de ponta. Como consequência direta, surge

a necessidade de aumentar a capacidade da potência a ser transmitida, sendo necessário verificar a expansão do parque de geração (adição de mais unidades geradoras). Outro impacto a ser destacado é o aumento da corrente elétrica ocasionado pelo carregamento dos veículos que pode resultar numa queda de tensão e na ultrapassagem do limite máximo de circulação de corrente suportado pelos condutores do sistema, associado às perdas por efeito Joule [6].

A lei Estadual 16.810/20 (Noronha Carbono Zero) proíbe a entrada de veículos a combustão na Ilha de Fernando de Noronha a partir de agosto de 2023, e, a partir de 2030, será restrita a circulação de carros movidos a gasolina, diesel e etanol [7]. Logo, a tendência é que apenas veículos elétricos circulem na ilha e consequentemente será necessário instalar carregadores veiculares. Para suprir a demanda de potência desses carregadores, novos geradores fotovoltaicos deverão ser conectados à rede de distribuição. Portanto, é preciso verificar a capacidade de carregamento do sistema e o perfil de tensão dos barramentos com o surgimento de novas conexões de usinas fotovoltaicas e postos de carregamento de veículos elétricos.

1.1 Objetivo Geral

Desenvolver, apresentar e analisar a simulação de um sistema elétrico que representa a rede de distribuição da Ilha de Fernando de Noronha (PE), com o detalhamento dos ramais operando em 13,8 kV e demais elementos que constituem o sistema de suprimento da microrrede isolada.

1.2 Objetivos Específicos

Pretende-se por meio deste trabalho alcançar os seguintes objetivos específicos:

- a) Externar o histórico do software utilizado como metodologia da simulação, descrevendo suas aplicações;
- b) Apresentar e explicar a modelagem dos componentes elétricos, no OpenDSS, que compõem o sistema elétrico;

- c) Formatar uma base de dados com os parâmetros elétricos de uma rede elétrica real representativa de um sistema de distribuição;
- d) Simular o sistema da Ilha de Fernando de Noronha;
- e) Exibir e analisar os resultados obtidos e propor continuções para o trabalhado em questão.

1.3 Organização do Trabalho

O trabalho em questão foi estruturado em cinco capítulos. O primeiro capítulo é composto pela introdução e pelos objetivos que pretendem ser alcançados com a realização do trabalho.

O segundo capítulo apresenta uma contextualização teórica do tema, introduzindo e explicando alguns conceitos sobre o sistema elétrico brasileiro.

No capítulo 3 são descritos o surgimento e as aplicações do programa utilizado para simular a rede de distribuição abordada.

O capítulo 4 detalha como foi desenvolvido o trabalho, ou seja, como foi modelada a rede elétrica simulada, além de apresentar e discutir os principais resultados.

O último capítulo é constituído pelas conclusões do que foi tratado e por sugestões para futuros trabalhos que possam complementar e aprimorar esse estudo de caso.

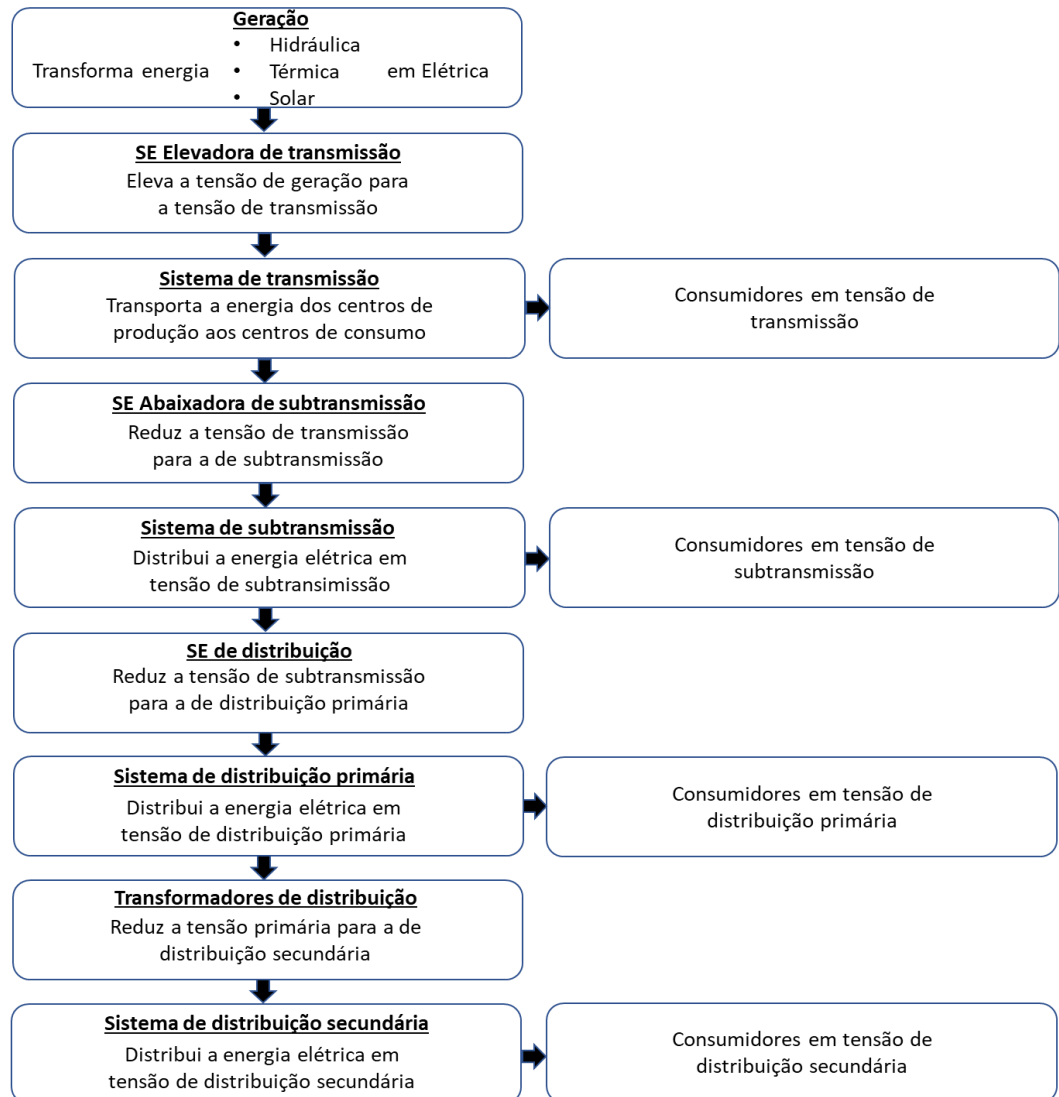
2 REDES ELÉTRICAS E O SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO

2.1 Sistema elétrico de potência

O sistema elétrico de potência (SEP) é estruturado pelos segmentos de geração, transmissão, distribuição e consumo. A principal funcionalidade dos sistemas elétricos é fornecer energia elétrica aos consumidores com qualidade, segurança, confiabilidade e disponibilidade [8].

Dentro de cada segmento, há divisões dos níveis de tensão que permitem a conexão e operação do sistema elétrico. As usinas de geração de energia são conectadas às redes de transmissão por subestações elevadoras de potência, com a finalidade de reduzir as perdas técnicas. Em sequência, ocorre a conexão das redes de transmissão com as redes de subtransmissão, por meio de subestações abaixadoras de potência, e por seguinte há a ligação com as redes de distribuição primária e secundária, respectivamente, também via subestações abaixadoras, até que a energia elétrica seja entregue ao consumidor. O diagrama de blocos apresentado na Figura 2 ilustra esse processo.

Figura 2 - Esquematização da Estrutura de Suprimento do Sistema Elétrico



Fonte: Adaptado de [9].

2.2 Distribuição da energia elétrica

O segmento de distribuição de energia elétrica é responsável por receber a energia do sistema de transmissão e distribuí-la aos consumidores. O sistema de distribuição é composto pela subestação de distribuição, o ramal principal/primário, os ramais de derivação, banco de capacitores, o transformador de distribuição que conecta o ramal principal ao ramal secundário, no qual estão conectados a maior parte dos consumidores comerciais e residenciais. Os ramais de distribuição primários emergem das subestações de distribuição, podendo ser tanto aéreos como subterrâneos, sendo os primeiros de uso mais difundido, pelo

seu menor custo, e os segundos, encontrando grande aplicação em áreas de maior densidade de carga, por exemplo: zona central de uma metrópole, ou onde há restrições físicas [9].

O serviço público de distribuição de energia elétrica é prestado por empresas concessionárias ou permissionárias, públicas ou privadas, que possuem autorização para a exploração do serviço em determinadas áreas de concessões. A Resolução Normativa da ANEEL N° 1000 [10] é responsável por estabelecer as regras de prestação do serviço público de distribuição de energia elétrica, nas quais estão dispostos os direitos e deveres do consumidor e demais usuários do serviço. Portanto, a resolução em questão é aplicada às concessionárias e permissionárias de serviço público de distribuição de energia e aos usuários do serviço. A aplicação desta Resolução é complementada pelos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST [10].

A Resolução Normativa ANEEL N° 956 estabelece os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional. Portanto, as normas e procedimentos de conexão ao sistema de distribuição de energia elétrica, planejamento da expansão do sistema de distribuição, sistemas de medição e qualidade da energia elétrica estão presentes nesta resolução N° 956 [11].

Conforme citado, assim como outros produtos e serviços, a energia elétrica também possui indicadores que permitem mensurar sua qualidade ao comparar medições com valores de referência. É importante, então, relatar algumas explicações sucintas contendo as definições e os valores base de tais indicadores.

2.2.1 Tensão de Regime Permanente

Entende-se como regime permanente, ou simplesmente regime, a condição em que se encontra um sistema quando não há variações transitórias ou momentâneas nas grandezas elétricas que o caracterizam. Todavia, o sistema elétrico deverá estar operando na situação estabelecida como Operação Normal, na qual não existem alterações de estado nem violações de faixas e de restrições operativas estabelecidas. Na condição normal de operação, a tensão de atendimento em regime permanente é classificada nas categorias seguintes: adequada, precária e crítica, tomando como base o afastamento da tensão de leitura em relação a uma determinada tensão de referência [11].

As faixas de tensões de referência de regime permanente, para o caso de tensões nominais de 69 kV a 230 kV são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Pontos de conexão em Tensão Nominal igual ou superior a 69 kV e inferior a 230 kV

Tensão de atendimento	Faixa de variação da Tensão de leitura (TL) em relação à Tensão de Referência (TR)
Adequada	$0,95TR \leq TL \leq 1,05TR$
Precária	$0,90TR \leq TL < 0,95TR$ ou $1,05TR \leq TL < 1,07TR$
Crítica	$TL < 0,90TR$ ou $TL > 1,07TR$

Fonte: retirado de [11].

A Tabela 2 apresenta as classificações para a faixa de 2,3 kV a 69 kV. As faixas para as tensões de atendimento inferiores a 2,3 kV (380/220 V) estão caracterizadas na Tabela 3.

Tabela 2 - Pontos de conexão em Tensão Nominal igual ou superior a 2,3 kV e inferior a 69 kV

Tensão de atendimento	Faixa de variação da Tensão de leitura (TL) em relação à Tensão de Referência (TR)
Adequada	$0,93TR \leq TL \leq 1,05TR$
Precária	$0,90TR \leq TL < 0,93TR$
Crítica	$TL < 0,90TR$ ou $TL > 1,05TR$

Fonte: retirado de [11].

Tabela 3 - Pontos de conexão em Tensão Nominal inferior a 2,3 kV (380/220)

Tensão de atendimento	Faixa de variação da Tensão de leitura (TL) em relação à Tensão de Referência (TR)
Adequada	$(350 \leq TL \leq 399)/(202 \leq TL \leq 231)$
Precária	$(331 \leq TL < 350$ ou $399 < TL \leq 403)/$ $(191 \leq TL < 202$ ou $231 < TL \leq 233)$
Crítica	$(TL < 331$ ou $TL > 403)/(TL < 191$ ou $TL > 233)$

Fonte: retirado de [11].

2.2.2 Fator de Potência

O valor do fator de potência deve ser calculado a partir dos valores registrados das potências ativa e reativa ou das respectivas energias, utilizando-se as seguintes equações [11]:

$$fp = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad (2.1)$$

$$fp = \frac{EA}{\sqrt{EA^2 + ER^2}} \quad (2.2)$$

Sendo, fp o fator de potência; P a potência ativa; Q a potência reativa; EA a energia ativa; e ER a energia reativa.

Para unidades consumidoras do Grupo A, ou seja, unidades com conexão em tensão maior ou igual a 2,3 kV, ou atendidas a partir de sistema subterrâneo de distribuição em tensão menor que 2,3 kV, ou ponto de conexão entre distribuidoras com tensão inferior a 230 kV, o fator de potência no ponto de conexão deve estar compreendido entre 0,92 e 1,00 indutivo, ou 1,00 e 0,92 capacitivo, de acordo com as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica [11].

3 MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO

Ao emitir a nota técnica N° 0104/2014-SRD, em 2014, a ANEEL estabeleceu a utilização do OpenDSS como ferramenta padrão para realização de estudos de fluxo de potência e de cálculo da perda regulatória das distribuidoras de energia, em sistemas de distribuição de energia elétrica de baixa e média tensão [12].

Este capítulo revisita conceitos associados à modelagem de redes de distribuição, no contexto de análises de fluxo de potência para avaliação do carregamento e perfil de tensão, bem como apresenta uma descrição da utilização da ferramenta OpenDSS para simulação de redes elétricas.

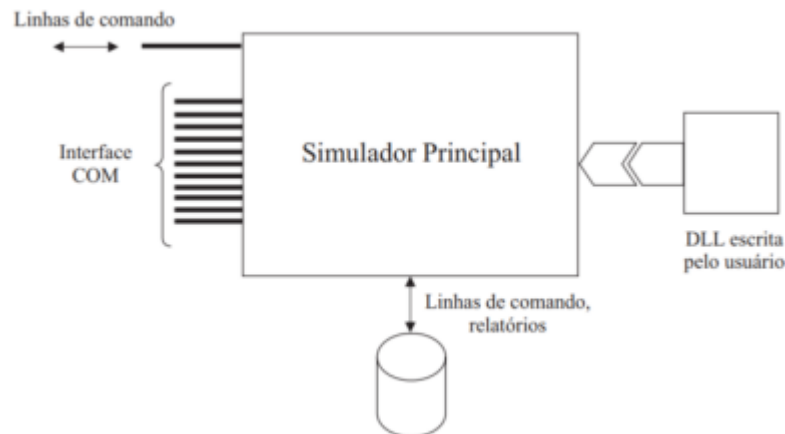
3.1 O Software OpenDSS

O *Open Distribution System Simulator* (OpenDSS) é um software de simulação para sistemas elétricos de distribuição de energia elétrica. Inicialmente, em 1997, foi denominado de DSS (*Distribution System Simulator*), desenvolvido na Electrotek Concepts, Inc. por Roger Dungan e Thomas McDemontt. A análise de sistemas de Geração Distribuída (GD) foi a motivação de desenvolvimento desta ferramenta. Porém, devido aos novos conceitos dos sistemas *Smart Grids* (Redes Inteligentes), novas funcionalidades foram desenvolvidas, cujas características tornam o *software* uma ferramenta versátil para simulações, buscando solucionar alguns impasses no sistema de distribuição de energia elétrica. Em 2004, o DSS foi comprado pelo EPRI (*Electric Power Research Institute*) e, em 2008 esse instituto apresentou sob licença de código aberto o chamado software OpenDSS [13].

3.1.1 Estruturação do Software

O OpenDSS, em resumo, é estruturado conforme apresentado na Figura 3. Trata-se de uma ferramenta, cuja interface é acessível a todos os níveis de usuários, com o objetivo de reduzir as dificuldades dos estudos realizáveis. Há, também, a possibilidade de usuários de nível avançado realizar interfaces com outros programas.

Figura 3 - Estrutura do Software OpenDSS



Fonte: retirado de [13].

O programa é baseado em linhas de comandos que podem ser provenientes do usuário, de um arquivo de texto ou programas externos, ou seja, os elementos podem ser definidos utilizando as linhas de comandos no próprio software ou importando de um arquivo de texto. A estrutura do OpenDSS que define os dados, os elementos dos circuitos e a interface foram desenvolvidos na linguagem orientada à objetos Pascal e as funções para soluções e cálculos através das matrizes esparsas foram escritas nas linguagens C e C++.

O software disponibiliza aos programadores usufruir da interface *Component Object Model* (COM) da Microsoft, permitindo desenvolver e executar novas soluções personalizadas através de programas externos. A interface pode ser controlada de forma autônoma por qualquer banco de dados ou arquivo de texto que caracteriza um circuito. Programas como MATLAB e Python, por exemplo, podem controlar o OpenDSS, somadas algumas ferramentas do Microsoft Office que podem ser utilizadas para auxiliar o programador [13].

3.1.2 Utilização do OpenDSS no Contexto de Fluxo de Potência

Dentre as principais características do OpenDSS, os seus modos de solução *quazi-static* permitem a realização de simulações sequenciais no tempo. O fluxo de potência instantâneo, o fluxo de potência diário e o fluxo de potência anual são alguns desses modos. Portanto, utilizando-se desses recursos é possível avaliar como os sistemas se comportam durante um intervalo de tempo definido [13].

Visto que uma das funcionalidades do OpenDSS é o cálculo do fluxo de potência, no qual o software trabalha com os fasores das grandezas elétricas tensões e correntes, resolvendo um sistema de equações algébricas. Os programas que analisam fluxo de potência de um sistema elétrico, em sua grande maioria, têm como ponto base a construção de uma matriz admitância nodal para utilizá-la na formulação de um conjunto de equações a ser solucionado por métodos de soluções numéricas distintos, como Newton-Raphson e Gauss-Seidel, por exemplo. Porém, o OpenDSS se difere da maioria, inclusive dos citados acima, pois este programa não utiliza os dados de potências injetadas no sistema a ser analisado. O software, então, utiliza os fasores de tensões nodais e correntes injetadas, trabalhando diretamente na matriz de admitância nodal do sistema de equações a ser resolvido. É importante ressaltar também que, no processo de solução, o software utiliza os valores reais de tensão e corrente. Os valores por unidade e as componentes simétricas podem ser utilizados somente como dados de entrada e saída do programa.

O sistema operacional possui dois algoritmos numéricos para calcular e solucionar o fluxo de potência, um é denominado de Normal, apresentado no tópico Algoritmo do Fluxo de Potência, e o outro é chamado de Newton que apesar da nomenclatura, não é igual ao método de Newton-Raphson clássico, pois como já mencionado, o OpenDSS não utiliza os dados de potências injetadas na rede. Apenas em condições de operações sensíveis, nas quais o método Normal não venha a convergir, recomenda-se a adotar o método de Newton, que é mais lento, porém mais robusto.

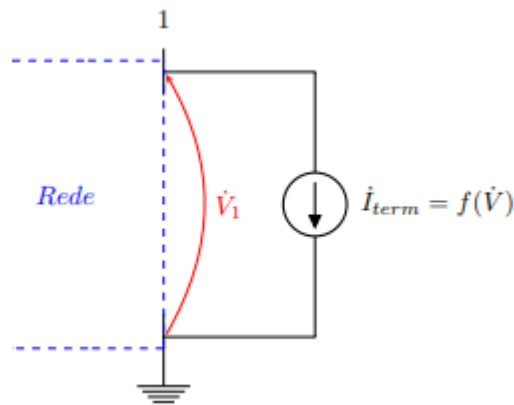
Os componentes elétricos que são incluídos de fato na formulação do problema de fluxo de potência são os elementos conversores de energia e os elementos que participam da transmissão de energia. Os transportadores de energia, como linhas e transformadores são modelados pela sua matriz de admitância nodal primitiva. Enquanto que os conversores como geradores, cargas, armazenadores de energia, além das fontes de tensão e corrente, em geral, são componentes externos à rede, responsáveis por injetar ou consumir corrente. Deve-se destacar que alguns desses conversores podem apresentar característica não linear, como por exemplo, o caso de cargas modeladas como potência constante. O OpenDSS trata a não linearidade desses elementos por meio da chamada corrente de compensação [14].

3.1.2.1 Corrente de Compensação

Como citado anteriormente, os componentes não lineares recebem uma modelagem especial através do método de corrente de compensação. Considerando uma carga monofásica não linear conectada a uma rede qualquer conectada ao nó 1, conforme a Figura 4. Sabe-se que a corrente absorvida por essa carga é determinada em função da tensão aplicada em seus terminais, como mostra a equação abaixo [14]:

$$\dot{I}_{term} = f(\dot{V}_1) \quad (3.1)$$

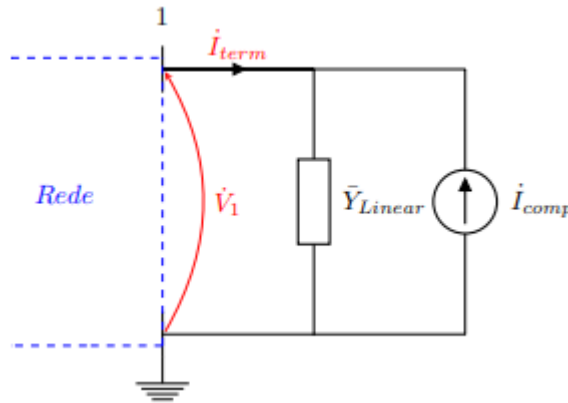
Figura 4 - Carga monofásica não linear



Fonte: retirado de [14].

Portanto, ao invés de considerar uma corrente negativa injetada na rede ($-\dot{I}_{term}$), o software converte a carga para um Equivalente de Norton, Figura 5, sendo a admitância ($\bar{Y}_{linear}$), linear e constante, calculada com referência na condição de tensão nominal da carga. Essa admitância é incluída na matriz de admitância nodal da rede, como mostra a Figura 6. Logo, é análogo a dizer que a parcela linear da carga passasse a constituir um componente passivo da rede.

Figura 5 - Carga monofásica não linear representada por um Equivalente de Norton

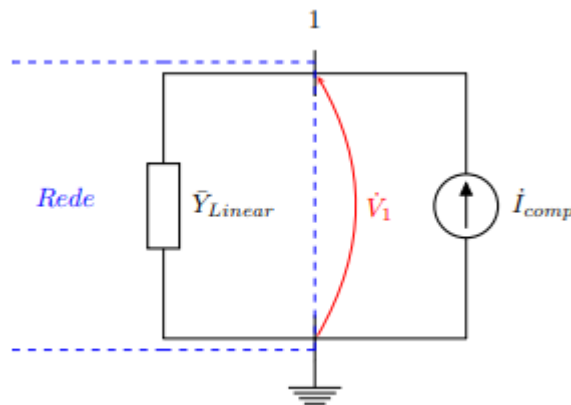


Fonte: retirado de [14].

A corrente de compensação, então, é responsável por incluir a não linearidade da verdadeira corrente, $\dot{I}_{term}$, que é absorvida pela carga. Ou seja, a corrente de compensação ($\dot{I}_{comp}$) é tratada como uma fonte de corrente injetada na rede. Matematicamente, pode-se afirmar que a equação abaixo é verdadeira [14]:

$$\dot{I}_{comp} = \dot{V}_1 \times \bar{Y}_{linear} - \dot{I}_{term} \quad (3.2)$$

Figura 6 - Carga monofásica com parcela linear representada como integrante da rede



Fonte: retirado de [14].

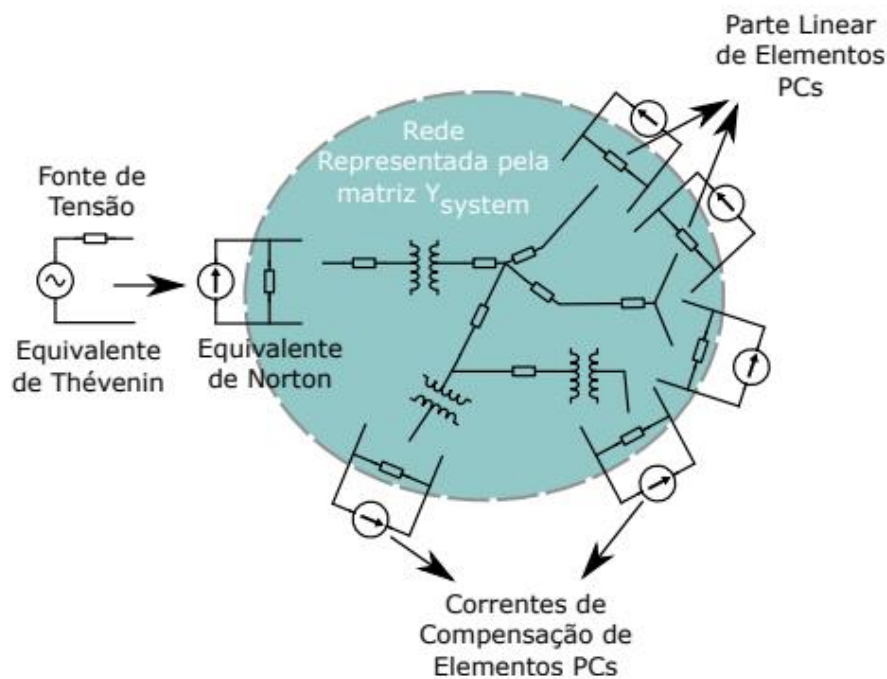
3.1.2.2 Algoritmo do Fluxo de Potência

Destaca-se que todos os elementos conversores de energia não lineares são representados por um equivalente de Norton, cuja impedância linear paralela é adicionada à

matriz de admitância nodal do sistema. A Figura 7 representa como o OpenDSS interpreta o sistema a ser analisado. Após modelar o sistema elétrico, é inicializada a solução do problema. A solução numérica do fluxo de potência Normal do programa emprega um método do ponto fixo iterativo na maioria das situações sendo aplicável para boa parte dos sistemas de distribuição de energia elétrica. A exigência desse método é que o ponto inicial das tensões dos barramentos do sistema seja próximo da solução final do caso, o que não representa uma dificuldade para simulações temporais, uma vez que a solução em um determinado passo de tempo costuma ser um bom ponto inicial para o processo iterativo no passo de tempo seguinte. Para sistemas de distribuição, a convergência é alcançada, normalmente, em 4 a 10 iterações para o fluxo de potência inicial e em 2 a 3 iterações para as soluções subsequentes em um fluxo temporal [14].

O termo “Elementos PCs” que significa *Power Conversion Elements*, aparece na Figura 7 e está se referindo aos elementos conversores de energia.

Figura 7 - Interpretação de uma rede a ser analisada pelo OpenDSS



Fonte: retirado de [14].

Em resumo, o processo iterativo é constituído de 4 passos detalhados nos próximos itens.

1.1.1.1.1 Chute Inicial

Um bom chute inicial acarreta em uma solução direta da matriz de admitância nodal do sistema ($\bar{Y}_{sistema}$), considerando que a corrente de compensação é nula para todos os elementos conversores. Ou seja, são consideradas apenas as correntes injetadas na rede provenientes de fontes, isto é, correntes constantes para o chute inicial [14].

1.1.1.1.2 Cálculo das Correntes Injetadas (correntes de compensação) por cada Elemento Conversor de Energia

O programa calcula, isoladamente, as correntes de compensação injetadas na rede por cada um desses componentes não lineares, conforme descrito anteriormente. Em seguida, as correntes encontradas são incorporadas ao vetor de correntes injetadas ($\dot{I}_{inj}$) [14].

1.1.1.1.3 Solução para um Novo Vetor de Tensões Nodais $\dot{V}_{nodal}$

Com o vetor de correntes injetadas atualizado, é realizada uma nova solução do sistema, através da equação abaixo [14]:

$$[\dot{V}_{nodal}] = [\bar{Y}_{sistema}]^{-1} \times [\dot{I}_{inj}] \quad (3.3)$$

Esse cálculo é feito com o auxílio do *KLUSolve* que é uma biblioteca de funções relacionadas a matrizes complexas esparsas adaptada a sistemas elétricos de potência [15].

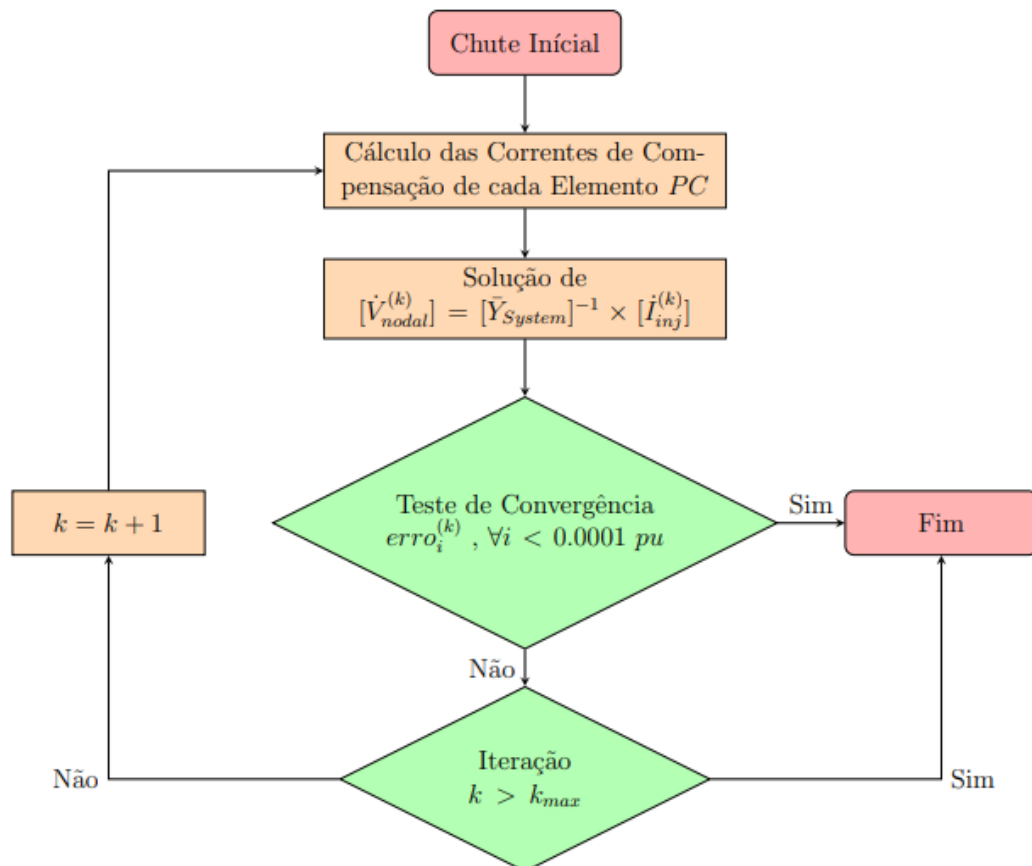
1.1.1.1.4 Teste de Convergência

Nessa etapa é conferida a convergência do sistema. Em caso positivo, o processo iterativo é interrompido. Em caso negativo, as etapas 1.1.1.1.2 e 1.1.1.1.3 são repetidas até que se exceda a condição de quantidade máxima de iterações. É importante ressaltar que o critério de convergência no OpenDSS depende da existência ou não de uma tensão de base para a barra analisada. Quando a tensão de base de uma barra não é especificada, o cálculo de erro se baseia na tensão nodal calculada na última iteração, o que pode dificultar a convergência do processo em alguns casos. Portanto, recomenda-se definir as tensões de base dos barramentos. Portanto, para um determinado nó “i” e uma iteração “k” do sistema a ser analisado, o erro é calculado por meio da equação a seguir [14]:

$$\text{erro}_i^{(k)} = \begin{cases} \frac{|\dot{V}_i^{(k)}| - |\dot{V}_i^{(k-1)}|}{V_{\text{base}_i}}, & \text{se a barra que o nó } i \text{ pertence possui tensão de base} \\ \frac{|\dot{V}_i^{(k)}| - |\dot{V}_i^{(k-1)}|}{|\dot{V}_i^{(k)}|}, & \text{a barra que o nó } i \text{ pertence não possui tensão de base} \end{cases} \quad (3.4)$$

Por padrão do programa, em qualquer caso acima, o algoritmo de solução só converge quando o erro da iteração é menor que 0,0001 por unidade. A Figura 8 resume o algoritmo utilizado pelo OpenDSS para o cálculo de fluxo de potência de sistemas elétricos [14].

Figura 8 - Algoritmo de solução de fluxo de potência



Fonte: retirado de [14].

O capítulo 4 abaixo apresenta os resultados numéricos da aplicação da teoria de análise de redes, considerando o caso da ilha de Fernando de Noronha.

4 ESTUDO DE CASO – ANÁLISE DA REDE DA ILHA DE FERNANDO DE NORONHA

Fernando de Noronha é um arquipélago brasileiro do estado de Pernambuco. Formado por 21 ilhas, foi estimado que sua população total era de 3.140 pessoas, em 2021, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

A rede de distribuição aérea encarregada de distribuir e entregar energia elétrica aos consumidores finais da Ilha de Fernando de Noronha é representada através do diagrama unifilar na Figura 9. As características gerais da rede, como tensão nominal da linha, tensão de operação e fases de conexão são apresentadas na Tabela 4.

Figura 9 - Representação Geográfica da Rede de Distribuição Elétrica de Fernando de Noronha



Fonte: adaptado de [16].

Tabela 4 - Características Gerais da Rede de Distribuição Elétrica de Fernando de Noronha

Característica	Ramal de Distribuição Primário	Ramal de Distribuição Secundário
Tensão Nominal de Linha	13,8 kV	0,38 kV
Tensão em Operação	1 p.u	1 p.u
Fases de Conexão	3 fios com 3 fases	3 ou 4 fios com 3 fases

Fonte: O autor.

É válido enfatizar que, em janeiro de 2023, o maior carregamento médio mensal dentre os ramaís primários da rede de distribuição era equivalente a 89,15% de sua capacidade máxima de potência elétrica suportada. As linhas com o carregamento mencionado são destacadas pela Figura 10.

Figura 10 - Linhas com Maior Capacidade de Carregamento Médio Mensal em Janeiro de 2023



Fonte: adaptado de [16].

4.1 Parâmetros de representação da rede elétrica da Ilha

As subestações de potência responsáveis pela conexão entre os ramais primários e secundários da rede são representadas através da Figura 11.

Figura 11 - Rede de Distribuição da Ilha com as Subestações de Potência



Fonte: adaptado de [16].

Informações como tipo de transformador, potência nominal aparente, tensão do enrolamento secundário e valor de ajuste da tensão secundária referentes a cada subestação conectada à rede elétrica da ilha, em janeiro de 2023, podem ser verificadas na Tabela 5, cujos dados foram extraídos da plataforma Ecotx, constituída de ferramentas que auxiliam nos processos de viabilidade e desenvolvimento de projetos de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica.

Tabela 5 - Características Nominais dos Transformadores de Potência da Ilha.

Elemento	Tipo do Transformador	Potência Nominal Aparente (kVA)	Tensão de Linha do Secundário (kV)	Valor de Ajuste da Tensão Secundária (p.u.)
TRAFO 1	Trifásico	225	0,38	1,05
TRAFO 2	Trifásico	75	0,38	1,05
TRAFO 3	Trifásico	45	0,38	1,05
TRAFO 4	Trifásico	300	0,38	1,05
TRAFO 5	Trifásico	45	0,38	1,05
TRAFO 6	Trifásico	75	0,38	1,05
TRAFO 7	Trifásico	225	0,38	1,05
TRAFO 8	Trifásico	225	0,38	1,05
TRAFO 9	Trifásico	225	0,38	1,05
TRAFO 10	Trifásico	225	0,38	1,05
TRAFO 11	Monofásico	15	0,22	1,05
TRAFO 12	Trifásico	75	0,38	1,05
TRAFO 13	Trifásico	45	0,38	1,05
TRAFO 14	Trifásico	112,5	0,38	1,05
TRAFO 15	Trifásico	225	0,38	1,05
TRAFO 16	Trifásico	30	0,38	1,05
TRAFO 17	Trifásico	225	0,38	1,05
TRAFO 18	Trifásico	112,5	0,38	1,00
TRAFO 19	Trifásico	300	0,38	1,00
TRAFO 20	Trifásico	112,5	0,38	1,00
TRAFO 21	Trifásico	1500	0,38	1,05
TRAFO 22	Trifásico	150	0,38	1,00
TRAFO 23	Trifásico	75	0,38	1,00
TRAFO 24	Trifásico	75	0,38	1,05
TRAFO 25	Trifásico	30	0,38	1,00
TRAFO 26	Trifásico	300	0,38	1,00
TRAFO 27	Trifásico	45	0,38	1,00
TRAFO 28	Trifásico	150	0,38	1,00
TRAFO 29	Trifásico	75	0,38	1,00
TRAFO 30	Trifásico	225	0,38	1,05
TRAFO 31	Trifásico	150	0,38	1,00
TRAFO 32	Trifásico	150	0,38	1,05
TRAFO 33	Trifásico	150	0,38	1,00
TRAFO 34	Trifásico	75	0,38	1,00
TRAFO 35	Trifásico	112,5	0,38	1,05
TRAFO 36	Trifásico	112,5	0,38	1,05
TRAFO 37	Trifásico	75	0,38	1,05
TRAFO 38	Trifásico	225	0,38	1,05
TRAFO 39	Trifásico	225	0,38	1,05
TRAFO 40	Trifásico	30	0,38	1,05

Elemento	Tipo do Transformador	Potência Nominal Aparente (kVA)	Tensão de Linha do Secundário (kV)	Valor de Ajuste da Tensão Secundária (p.u.)
TRAFO 41	Trifásico	75	0,38	1,05
TRAFO 42	Trifásico	75	0,38	1,05
TRAFO 43	Trifásico	75	0,38	1,05
TRAFO 44	Trifásico	75	0,38	1,05
TRAFO 45	Trifásico	150	0,38	1,05
TRAFO 46	Trifásico	112,5	0,38	1,05
TRAFO 47	Trifásico	75	0,38	1,05
TRAFO 48	Trifásico	112,5	0,38	1,05

Fonte: O autor.

4.2 Modelagem da rede elétrica no OpenDSS

Neste tópico será apresentado um estudo de caso que representa uma topologia simplificada do sistema elétrico da Ilha, no qual é feita a modelagem dos equipamentos elétricos através da linguagem do software. É importante citar as considerações iniciais que foram adotadas:

- As barras do sistema real que não possuem ramificações e cargas conectadas foram removidas do estudo, resultando na união de várias linhas, pois o objetivo é avaliar o perfil de tensão das barras que possuem conexões de cargas e/ou geradores;
- As cargas modeladas são todas trifásicas e foram consideradas equilibradas. Além de que as cargas conectadas em baixa tensão foram concentradas em média tensão, ou seja, nas barras de 13,8 kV. Portanto, considerou-se que as cargas demandam um valor menor de corrente do que consomem no sistema real, uma vez que a tensão nominal teve um acréscimo e a potência ativa foi considerada constante;
- Os inversores dos sistemas fotovoltaicos, o banco de baterias e os postos carregadores de veículos elétricos, também, foram conectados em média tensão;
- O fluxo de potência foi calculado considerando apenas a rede de média tensão sem a presença dos transformadores de potência, pois os dados da rede de baixa tensão não foram obtidos. Foi considerado, também, que as cargas consomem

toda potência instalada, uma vez que representa a situação de carga pesada do sistema, demandando maior potência dos geradores.

O sistema elétrico em estudo, então, é composto por 89 barras trifásicas, estando inclusa a barra *swing* (saída do alimentador) que é a barra de referência do sistema com tensão de linha nominal de 13,8 kV, dois geradores fotovoltaicos de 55 kVA de potência na saída dos inversores e um gerador de 100 kW que alimenta diretamente um banco de baterias com a mesma carga. As barras são conectadas através de 88 linhas trifásicas responsáveis por alimentar uma carga total de aproximadamente 13,62 MW. Dentre as cargas, onze foram modeladas de forma a representar eletropostos, ou seja, estabelecimentos que carregam veículos elétricos, o que é uma tendência mundial e está sendo fortemente implementada em Fernando de Noronha.

4.2.1 Modelagem do alimentador

Os sistemas de distribuição modelados no software devem ser inicializados com o comando “*New Circuit*” para definir o alimentador do sistema, representado pelo equivalente de Thévenin por meio de uma aproximação matemática. Portanto, o alimentador possui um terminal que é conectado ao terminal terra do sistema (potencial base do sistema igual a 0 V) e sua saída que é considerada a barra de referência do sistema, conhecida como barra *swing*, é conectada a outra barra qualquer.

A barra de referência foi denominada de Noronha, que foi definida como trifásica com tensão nominal igual a 13,8 kV, equivalente a 1,0 p.u e com potências de curto circuito trifásica (MVA_{sc3}) e monofásica (MVA_{sc1}), respectivamente iguais a 2000 MVA e 2100 MVA. A frequência padrão e a fase (ângulo) de referência adotadas, no programa são respectivamente, 60 Hz e 0°, quando não especificadas pelo usuário.

A Figura 12 mostra como foi realizada essa modelagem na linguagem do OpenDSS. A barra “Noronha” foi conectada à barra chamada de “fen01bp”, comando que é verificado por meio do código “bus1=”. Destaca-se que o símbolo “~” permite a continuação do comando na linha seguinte. Outros parâmetros do alimentador, como correntes de curto-circuito e impedâncias de sequência positiva, negativa e zero podem ser verificados através da Figura 13.

Figura 12 - Modelagem do Alimentador da Rede Elétrica

```
New circuit.Noronha
~ basekv=13.8 pu=1.00 bus1=FEN01BP phases=3
~ mvasc3=2000 mvasc1=2100
```

Fonte: O autor.

Figura 13 - Parâmetros do Alimentador

Property	Value
bus1	fen01bp
basekv	13.8
pu	1.00
angle	0
frequency	60
phases	3
MVAsc3	2000
MVAsc1	2100
x1r1	4
x0r0	3
Isc3	83674
Isc1	87858
R1	0.023094
X1	0.092377
R0	0.025863
X0	0.077589
ScanType	Pos
Sequence	Pos
bus2	fen01bp.0.0.0
Z1	[0.023094242, 0.092376969]
Z0	[0.025862916, 0.077588748]
Z2	[0.023094242, 0.092376969]
puZ1	[0.012126781, 0.048507125]
puZ0	[0.013580611, 0.040741834]
puZ2	[0.012126781, 0.048507125]
baseMVA	100
Yearly	
Daily	
Duty	
Model	Thevenin
puZideal	[1E-006, 0.001]
spectrum	defaultvsources

Fonte: O autor.

4.2.2 Modelagem das linhas de distribuição

Como citado no tópico 4.2, o sistema possui 88 linhas de distribuição que são elementos de transportadores de energia, caracterizadas por uma impedância. As linhas são representadas por seu modelo “pi” com capacitância *shunt* e são modeladas por meio do comando “New Line”, no qual é definido o nome da linha, a quantidade de fases, as barras aos quais estão conectados seus terminais, o comprimento e as componentes simétricas da

impedância, uma vez que o sistema analisado é considerado equilibrado para facilitar a compreensão. Caso, o sistema fosse desequilibrado era necessário utilizar a forma matricial de impedâncias.

A Figura 14 apresenta a definição da linha de distribuição denominada de “792” da rede elétrica em questão.

Figura 14 - Modelagem das Linhas de Distribuição

```
New Line.792 Bus1=Sourcebus Bus2=FEN01BP Length=0.001 units=km
~R1=0.1 X1=0.1
~R0=0.1784 X0=0.4047
~C1=3.4 C0=1.6
```

Fonte: O autor.

Esta linha “792”, por exemplo, é responsável por realizar a conexão entre as barras “Sourcebus”, que é a barra de referência chamada de Noronha, e “fen01bp”. Outros parâmetros nominais da linha 792 são apresentados na Figura 15.

Figura 15 - Parâmetros Nominiais da Linha 792

Property	Value
bus1	sourcebus
bus2	fen01bp
linecode	
length	0.001
phases	3
r1	0.1
x1	0.1
r0	0.1784
x0	0.4047
C1	3.4
C0	1.6
rmatrix	[0.1261333 0.02613333 0.1261333 0.02613333]
ymatrix	[0.2015667 0.1015667 0.2015667 0.1015667 0]
cmatrix	[2.8 1-0.6 2.8 1-0.6 -0.6 2.8]
Switch	False
Rg	0.01805
Xg	0.155081
rho	100
geometry	
units	km

Fonte: O autor.

A resistência e a reatância de sequência positiva são respectivamente iguais a 0,1 Ω , enquanto que a capacitância da mesma sequência é igual a 3,4 nF. Já a resistência, a reatância e a capacitância de sequência zero são respectivamente iguais a 0,1784 Ω , 0,4047 Ω e 1,6 nF. Os parâmetros citados acima são referentes à linha 792. Já os parâmetros elétricos de outras linhas do sistema foram obtidos através do compartilhamento de dados pelo CPQD (Centro de Pesquisa e Desenvolvimento) e podem ser verificados no APÊNDICE 1.

4.2.3 Modelagem das Cargas

As cargas são classificadas como elementos conversores de energia e como citado nas considerações iniciais do estudo, no tópico 4.2, todas as cargas foram modeladas trifásicas, conectadas em média tensão, ou seja, nas barras de 13,8 kV e equilibradas. Caso, o usuário desejasse incluir cargas desequilibradas será necessário definir cargas monofásicas separadas.

Para modelar uma carga no OpenDSS é necessário que se defina pelo menos duas de suas grandezas elétricas, tendo o desenvolvedor as seguintes opções de escolha:

- Potência aparente (kVA) e fator de potência;
- Potência ativa (kW) e fator de potência; ou
- Potência ativa (kW) e potência reativa (kVAr).

O comando utilizado para definir esse elemento no programa é o “*New Load*”, no qual é apresentado o nome escolhido para a carga, a barra ao qual está conectado o elemento, sua tensão nominal e suas duas grandezas elétricas obrigatórias. O tipo de conexão padrão do software é o estrela. Logo, caso o usuário queira utilizar a conexão delta, é necessário esclarecer no comando. Destaca-se, também, que as tensões padrões, em p.u, do software máximas e mínimas das cargas são respectivamente 1,05 e 0,95.

Todas as cargas foram definidas através de suas respectivas potências ativas e de seus fatores de potência que foram considerados unitários, em 100% dos casos, o que reflete um caso ideal em que toda energia é convertida em trabalho. Portanto, as cargas são do modelo potência constante (modelo 1 do software). Outras possibilidades de modelos são apresentadas na Tabela 6.

A Figura 16 apresenta a linguagem de comando utilizada para definir uma das cargas do sistema em análise.

Figura 16 - Modelagem da Carga 7012259942

```
New Load.7012259942 Bus=10323545M-211 Phases=3  
~kV=13.8 kW=16.0 PF=1 class=30
```

Fonte: O autor.

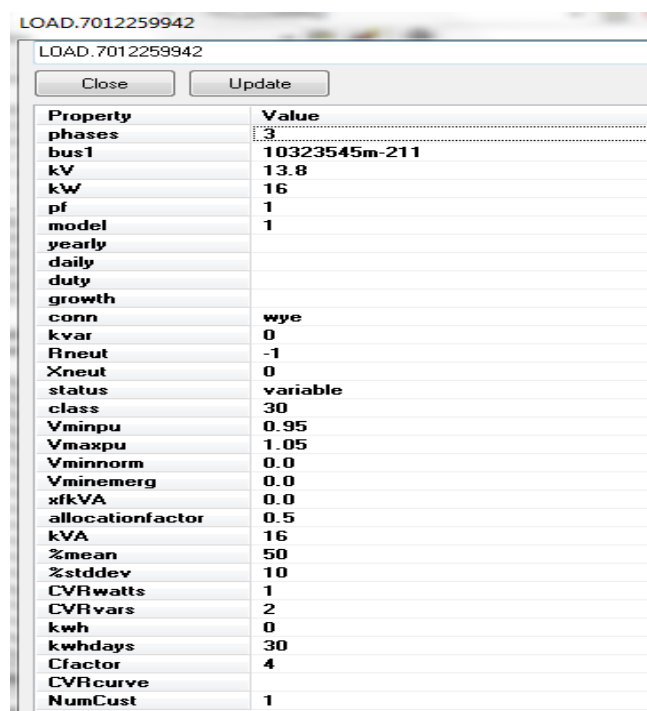
Tabela 6 - Tipos/Modelos de Cargas

Número do Modelo	Tipo de Carga
1	Potência Constante
2	Impedância Constante
3	Potência Ativa Constante e Reatância Constante (Potência reativa varia com o quadrado da tensão)
4	Potência Ativa e Reativa Variáveis de Forma Exponencial
5	Corrente Constante
8	ZIP (é definido um vetor com 7 expoentes para cada tipo de carga: potência constante, impedância e corrente constante)

Fonte: O autor.

A Figura 17 mostra alguns parâmetros de uma das cargas do sistema elétrico, chamada de “7012259942” que está conectada à barra denominada de “10323545M-211”. Sua tensão nominal é de 13,8 kV com potências ativa e reativa iguais a respectivamente 16 kW e 0 kVAr. Por padrão, sua conexão é do tipo estrela, uma vez que não foi especificado.

Figura 17 - Parâmetros Nominais da Carga 7012259942



Property	Value
phases	3
bus1	10323545m-211
kV	13.8
kW	16
pf	1
model	1
yearly	
daily	
duty	
growth	
conn	wye
kvar	0
Rneut	-1
Xneut	0
status	variable
class	30
Vminpu	0.95
Vmaxpu	1.05
Vminnorm	0.0
Vminemerg	0.0
xfkVA	0.0
allocationfactor	0.5
kVA	16
%mean	50
%stddev	10
CVRwatts	1
CVRvars	2
kwh	0
kwhdays	30
Cfactor	4
CVRcurve	
NumCust	1

Fonte: O autor.

4.2.4 Modelagem dos Geradores Fotovoltaicos

O OpenDSS disponibiliza aos usuários um modelo de elemento que simula um gerador fotovoltaico para que se possa avaliar as consequências de sua conexão no sistema elétrico a ser avaliado. Esse elemento é o “*PVSystem Element Model*” que representa os módulos solares e o inversor através do modelo matemático que é o equivalente de Norton.

O comando que deve ser acionado para definir um gerador fotovoltaico é o “*New PVSystem*”, no qual é definido a nomenclatura do gerador, a quantidade de fases, sua tensão nominal, o barramento ao qual está conectado, a potência nominal aparente do inversor, a irradiação nominal do painel solar e a potência nominal no ponto de máxima potência. Destaca-se que a irradiância e a temperatura de base dos módulos fotovoltaicos são respectivamente 1000 W/m^2 e 25°C que estão sob condições padrões de teste STC (*standard test conditions*). Além de que caso não seja especificado o fator de potência, o programa considera esse parâmetro igual a 1.

No sistema elétrico em estudo, os geradores solares estão conectados diretamente na rede de média tensão para fins de simplificação. É importante enfatizar que essa consideração foi feita, uma vez que de acordo com as potências nominais dos inversores, na atual realidade, esses microgeradores estariam concentrados na baixa tensão.

A Figura 18 apresenta a modelagem dos dois geradores do caso analisado, utilizando a linguagem do programa. Na primeira linha de comando foi modelado o gerador trifásico denominado de “FV1134”, que está conectado à barra “1847600M-210” com tensão nominal de 13,8 kV. Na segunda linha, percebe-se que a potência nominal de saída do inversor é de 55 kVA, a irradiação nominal é de 1 p.u, sua potência nominal no ponto de máxima potência é de 50 kW e sua conexão é do tipo delta. O segundo gerador, definido na terceira e quarta linha, foi chamado de “FV4567” e está conectado ao barramento “1847262M-211”. Esse gerador possui os mesmos parâmetros elétricos do “FV1134”. Não foram especificados os fatores de potência, portanto ambos, por padrão, possuem fatores unitários.

Figura 18 - Modelagem dos Geradores Fotovoltaicos

```
New PVSystem.FV1134 bus1=1847600M-210 phases=3 Kv=13.8
~kVA=55 irradiance=1 Pmpp=50 conn=delta
New PVSystem.FV4567 bus1=1847262M-211 phases=3 Kv=13.8
~kVA=55 irradiance=1 Pmpp=50 conn=delta
```

Fonte: O autor.

4.2.5 Modelagem do Sistema de Baterias

O sistema de baterias da simulação proposta é composto por um gerador que alimenta o banco de baterias, portanto, os dois componentes são conectados ao mesmo barramento.

O gerador é um elemento de conversão de energia que injeta potência no sistema ao qual está conectado. No OpenDSS, esse elemento é definido de forma similar a uma carga, sendo necessário que o usuário declare a potência ativa e o fator de potência ou a potência reativa. É possível modelá-lo no programa através do comando “*New Generator*”, no qual se define seu nome, a barra ao qual está conectado, a quantidade de fases, a tensão nominal, a potência ativa e o fator de potência ou potência reativa, conforme mencionado anteriormente.

O banco de baterias do sistema foi modelado por meio de um elemento carga, no software. Os dois elementos que compõem o sistema de baterias receberam a denominação de “BESS”. Destaca-se que por se tratarem de componentes diferentes não há problema em receberem a mesma nomenclatura.

O código utilizado para definir esse sistema é apresentado na Figura 19. Percebe-se que o banco de baterias é modelado na segunda e terceira linha utilizando o comando “*New Load*”, ou seja, é definido o elemento carga trifásica “BESS” com tensão nominal de 13,8 kV, potência ativa de 100 kW, fator de potência unitário e se conecta à barra “1847262M-211”. O Gerador “BESS” por sua vez foi modelado na quarta e quinta linha do código, possui os mesmos parâmetros elétricos da carga, uma vez que o propósito é que o banco de baterias armazene toda sua potência injetada na barra aos quais estão concentrados. Como não foi especificado o tipo de conexão, ambos os componentes possuem conexão estrela.

Figura 19 - Modelagem do Sistema de Baterias BESS.

```
! Define o banco de bateria  
New Load.BESS bus1=1847262M-211 phases=3  
~KV=13.8 kW=100 PF=1  
New generator.BESS bus1=1847262M-211 phases=3  
~KV=13.8 kW=100 PF=1
```

Fonte: O autor.

4.2.6 Modelagem dos Carregadores de Veículos Elétricos

Os carregadores de veículos elétricos ou eletropostos são componentes que quando conectados à rede elétrica possuem a finalidade de converter e fornecer energia apropriada aos veículos. Estes elementos vêm sendo implementados cada vez mais no sistema elétrico da Ilha, então, também, foram utilizados na simulação proposta desse caso. Os onze carregadores utilizados no estudo foram modelados como carga, uma vez que esses consomem e convertem a energia entregue pela rede.

Portanto, utilizando o comando “*New Load*” foram definidos os eletropostos. A Figura 20 mostra o código que modela o carregador denominado de “EP_1”.

Figura 20 - Modelagem do Eletroposto "EP_1"

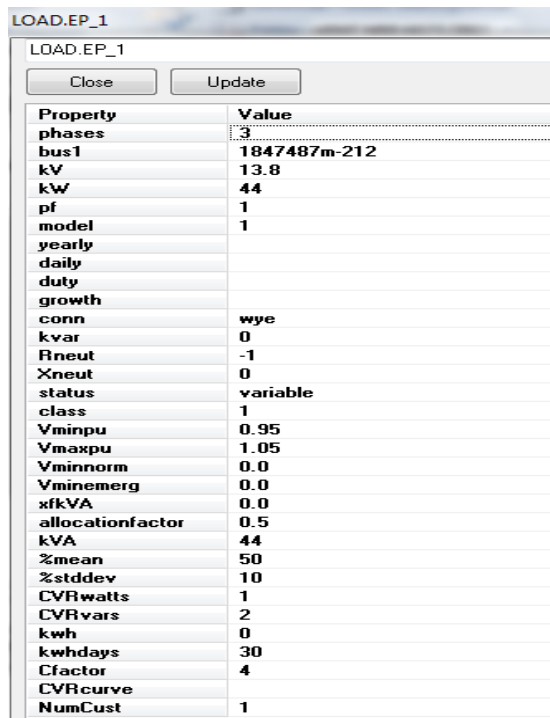
```
New Load.EP_1 Bus=1847487M-212  
~Phases=3 kV=13.8  
~kW=44 PF=1
```

Fonte: O autor.

Nota-se que o carregador “EP_1” é trifásico e foi conectado à barra “1847487M-212” do sistema. Possui tensão nominal de 13,8 kV com potência ativa nominal de 44 kW e fator de potência unitário. Logo, foi considerado que essa carga é do tipo potência constante que equivale ao modelo 1 do software.

Ao analisar a Figura 21, verifica-se que essa carga possui conexão do tipo estrela com tensões máximas e mínimas iguais respectivamente a 1,05 e 0,95 p.u, uma vez que esses parâmetros não foram especificados.

Figura 21 - Parâmetros Elétricos do "EP_1"



Property	Value
phases	3
bus1	1847487m-212
kV	13.8
kW	44
pf	1
model	1
yearly	
daily	
duty	
growth	
conn	wye
kvar	0
Rneut	-1
Xneut	0
status	variable
class	1
Vminpu	0.95
Vmaxpu	1.05
Vminnorm	0.0
Vminemerg	0.0
xfkVA	0.0
allocationfactor	0.5
kVA	44
%mean	50
%stddev	10
CVRwatts	1
CVRvars	2
kwh	0
kwhdays	30
Cfactor	4
CVRcurve	
NumCust	1

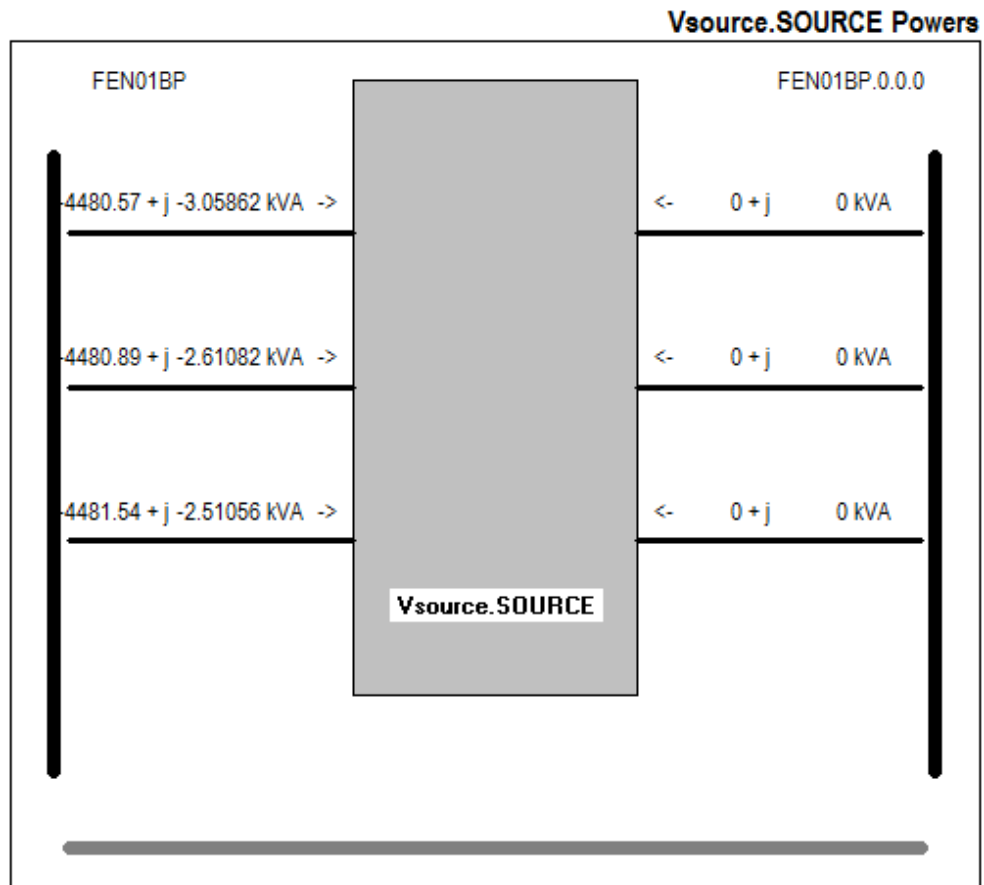
Fonte: O autor.

4.3 Resultados Importantes da Simulação

A tensão de base foi definida para 13,8 kV e o sistema elétrico foi simulado através do comando “solve”. Foram necessárias duas iterações para se obter o fluxo de potência do caso em estudo, ou seja, para que o caso convergisse.

A Figura 22 apresenta o fluxo de potência do alimentador “Noronha” para a barra ao qual está conectado após o sistema ser solucionado. Percebe-se que o alimentador fornece (sinal negativo) aproximadamente 4,48 MW e 3,06 kVAr ao barramento “fenbp01”.

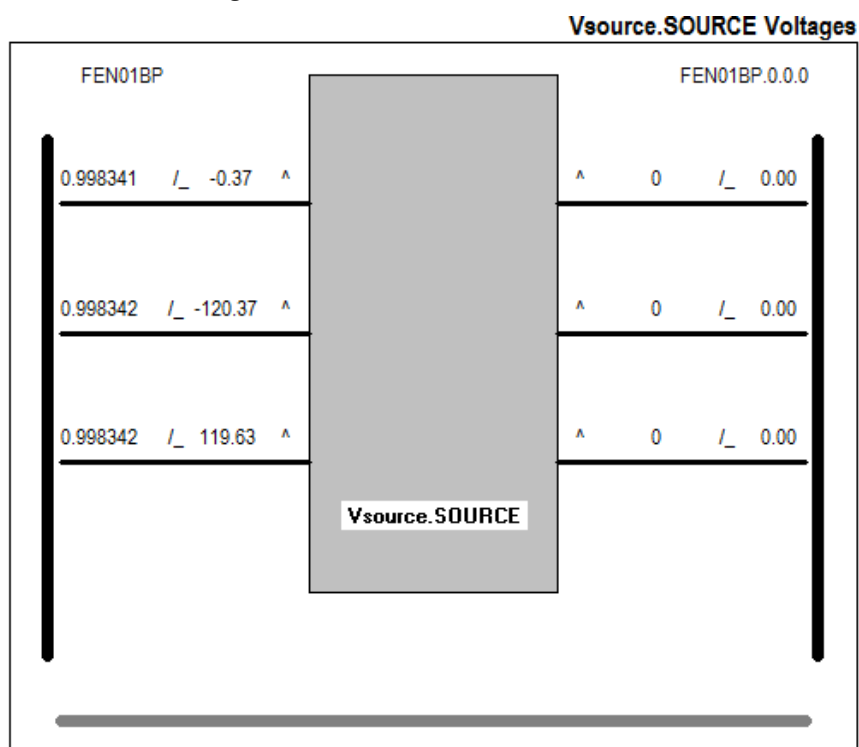
Figura 22 - Fluxo de Potência do Alimentador



Fonte: O autor.

É possível verificar, também, as tensões em cada fase do alimentador na Figura 23. Conforme apresentado, observa-se que essa subestação é equilibrada, uma vez que suas fases possuem magnitude de 0,998342 p.u, defasadas de 120°.

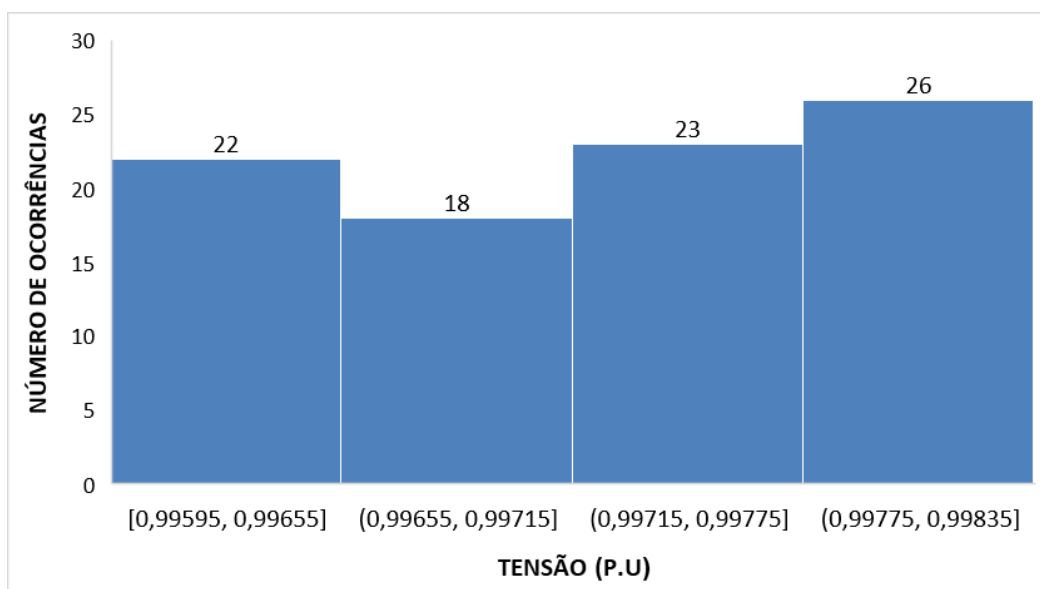
Figura 23 - Tensão Obtida do Alimentador



Fonte: O autor.

A Figura 24 apresenta o histograma da quantidade de ocorrências dos valores de tensões das barras dentro de intervalos pré-definidos.

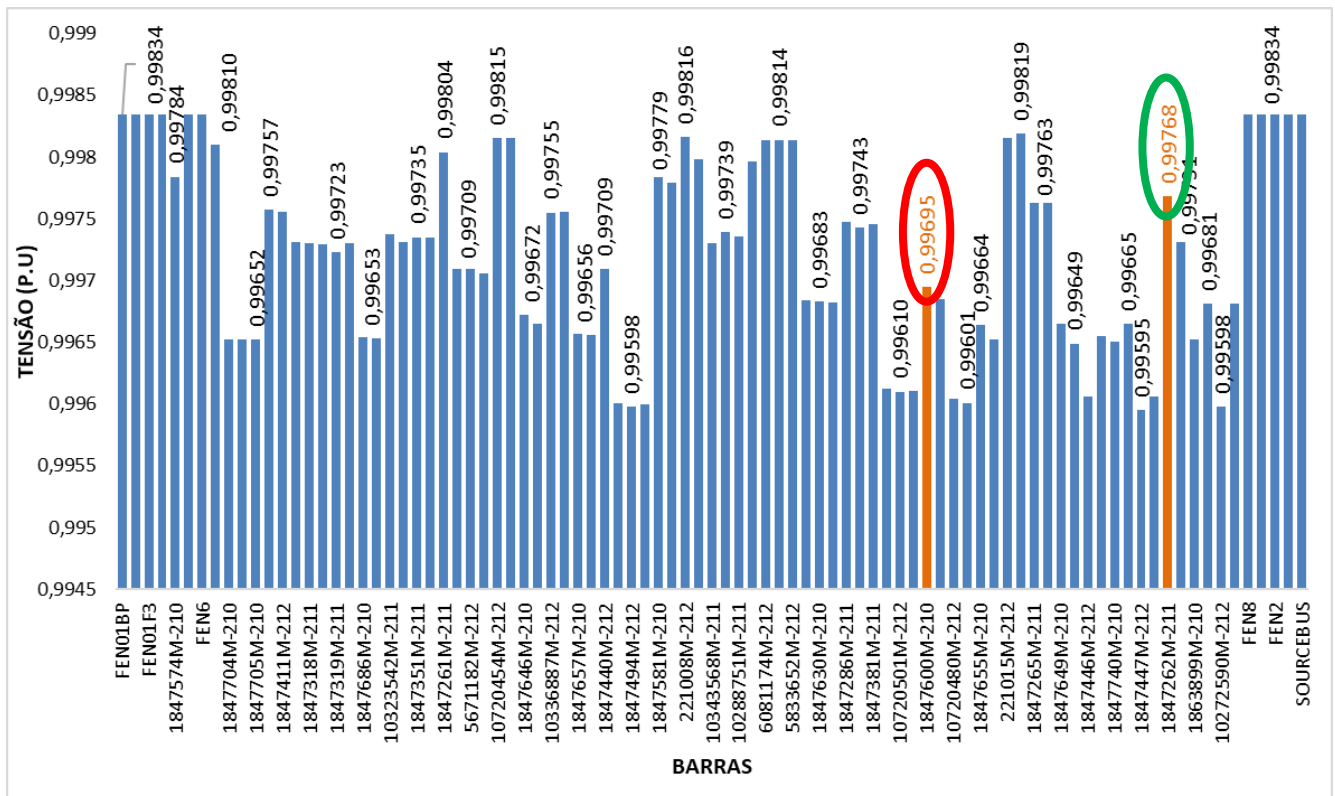
Figura 24 - Histograma de Tensões das Barras



Fonte: O autor.

Os resultados das tensões de alguns barramentos do sistema podem ser verificados na Figura 25. Destaca-se que os geradores solares estão conectados às barras “1847600M-210” e “1847262M-211” que estão destacadas em laranja.

Figura 25 - Gráfico de Tensão das Barras do Sistema com Geradores Solares



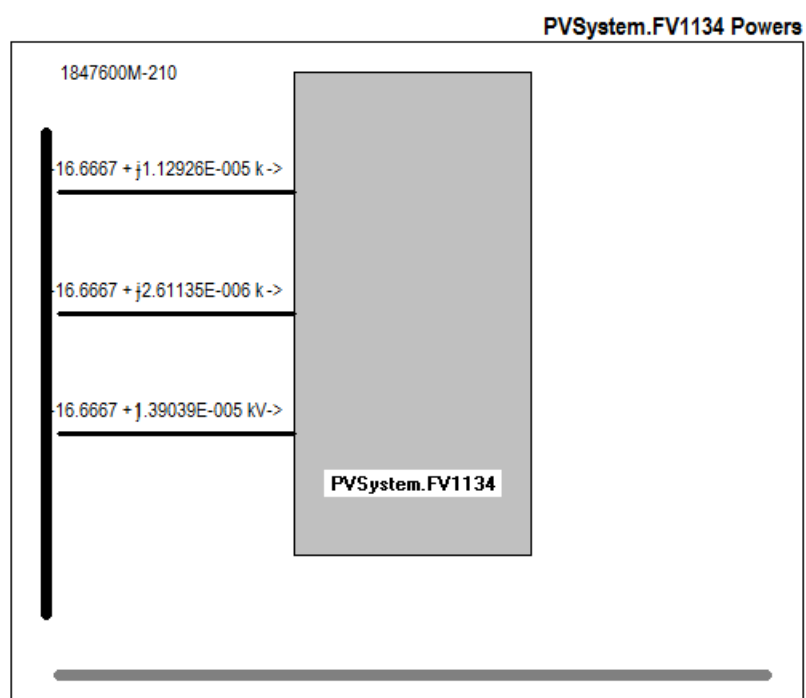
Fonte: O autor.

Percebe-se que os valores das tensões estão próximos de 1 p.u. Portanto, os valores de tensões das barras estão próximos da tensão de referência igual a 13,8 kV.

O gerador fotovoltaico “FV1134” injeta na barra ao qual está conectado uma potência ativa de aproximadamente 16,67 kW por fase, resultando numa potência total injetada de 50 kW, conforme apresentado na Figura 26.

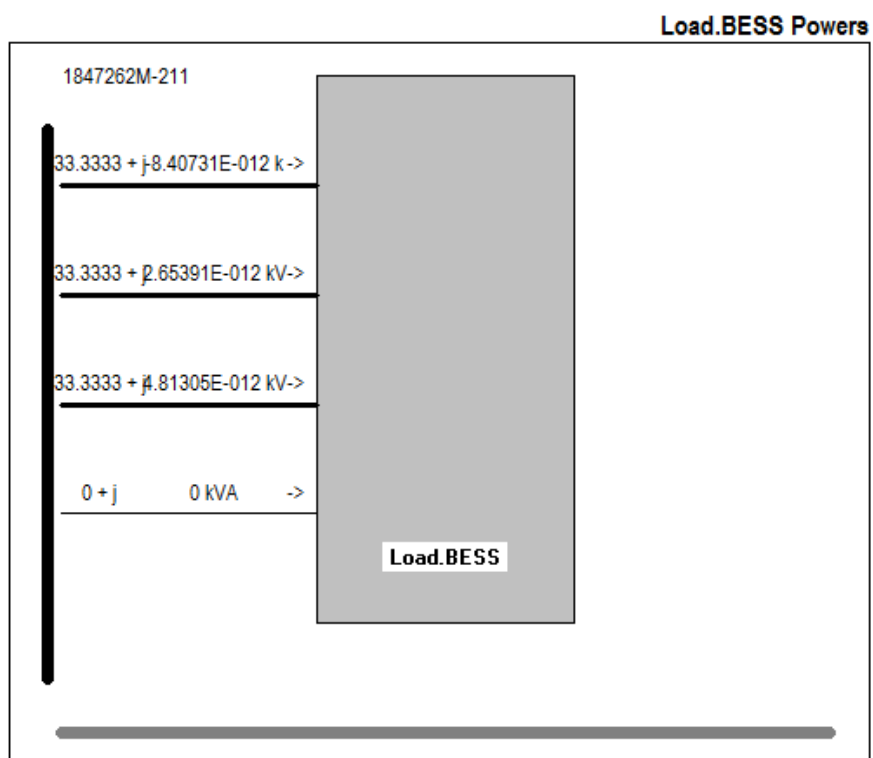
Já o fluxo de potência do banco de baterias “BESS” pode ser visualizado através da Figura 27, na qual é observado que cada fase do banco consome uma potência de 33,33 kW.

Figura 26 - Fluxo de Potência do Gerador Fotovoltaico "FV1134"



Fonte: O autor.

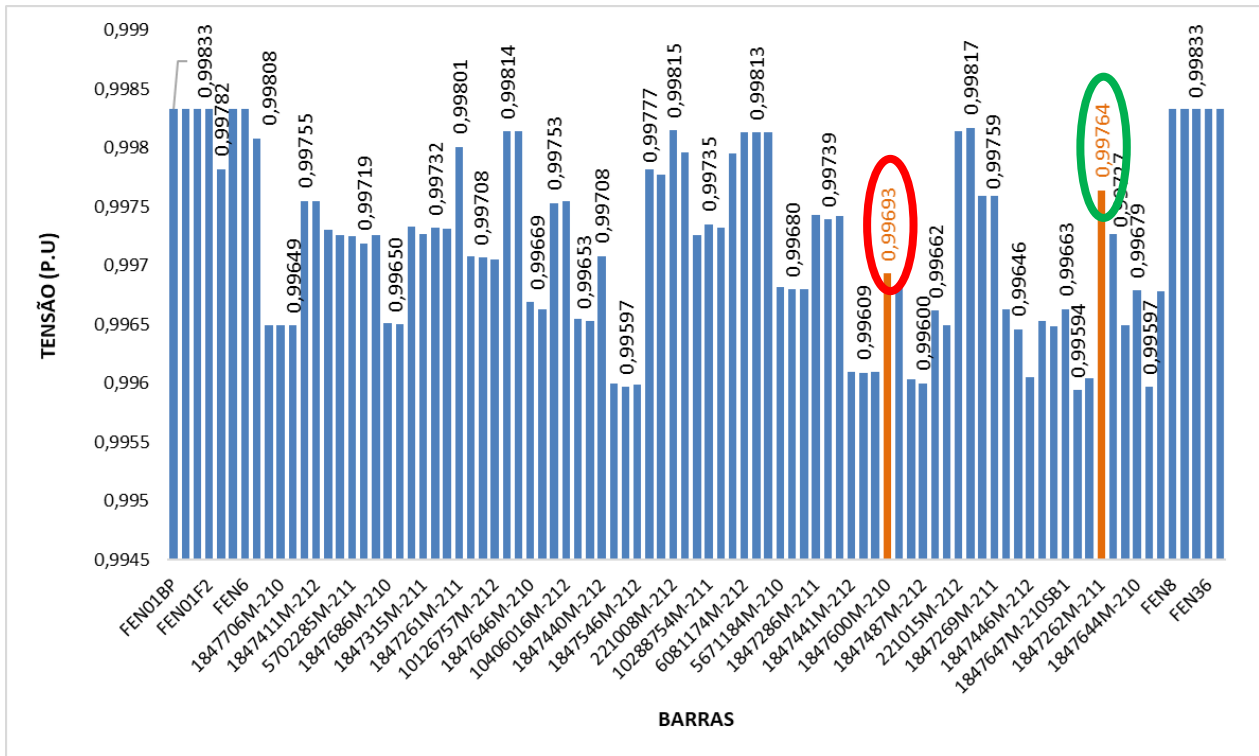
Figura 27 - Fluxo de Potência do Banco de Baterias "BESS"



Fonte: O autor.

É possível observar, também, o perfil de tensão dos barramentos do sistema sem a conexão dos geradores fotovoltaicos nas barras destacadas em laranja através da Figura 28.

Figura 28 - Gráfico de Tensão das Barras do Sistema sem Geradores Solares



Fonte: O autor.

Em resumo, o fluxo de potência simulado do sistema elétrico com as usinas fotovoltaicas conectadas, apresentou um total de perdas ativas de aproximadamente 19,4 kW que representa 0,14% do total da potência ativa da rede igual a 13.443 MW. Isso representa um sistema muito próximo do ideal, o que era esperado devido às considerações iniciais feitas na modelagem do sistema. As tensões máximas e mínimas dos barramentos do sistema foram respectivamente iguais a 0,99834 p.u e 0,99595 p.u. Essas e outras informações são apresentadas na aba “Summary” do OpenDSS e podem ser verificadas na Figura 29.

Figura 29 - Sumário do Circuito Simulado

```

Year = 0
Hour = 24
Max pu. voltage = 0.99834
Min pu. voltage = 0.99595
Total Active Power: 13.443 MW
Total Reactive Power: 0.00818004
Mvar
Total Active Losses: 0.0193948
MW, (0.1443 %)
Total Reactive Losses: 0.0100844
Mvar
Frequency = 60 Hz
Mode = Daily
Control Mode = STATIC
Load Model = PowerFlow

```

Fonte: O autor.

Outro resultado a ser destacado é que o fluxo de potência simulado do sistema elétrico, sem a presença das usinas solares conectadas, apresentou um total de perdas ativas de aproximadamente 19,6 kW que representa 0,145% do total da potência ativa da rede igual a 13.542 MW.

A Tabela 7 indica os dados das linhas que interligam as barras presentes na Figura 30 que mostra um circuito simplificado extraído do sistema elétrico simulado constituído pelo alimentador principal e sete linhas de distribuição. É apresentado o fluxo de potência desse circuito após a convergência do sistema. Destaca-se que foram conectados três conjuntos de cargas à barra identificada como 1847237M-211. Um conjunto de cargas é representado por uma única carga do tipo comercial (COM) que consome 64 kW, outro conjunto de cargas residenciais (RES) consome 44,74 kW e por último uma carga rural (RUR) solicita 18 kW do sistema.

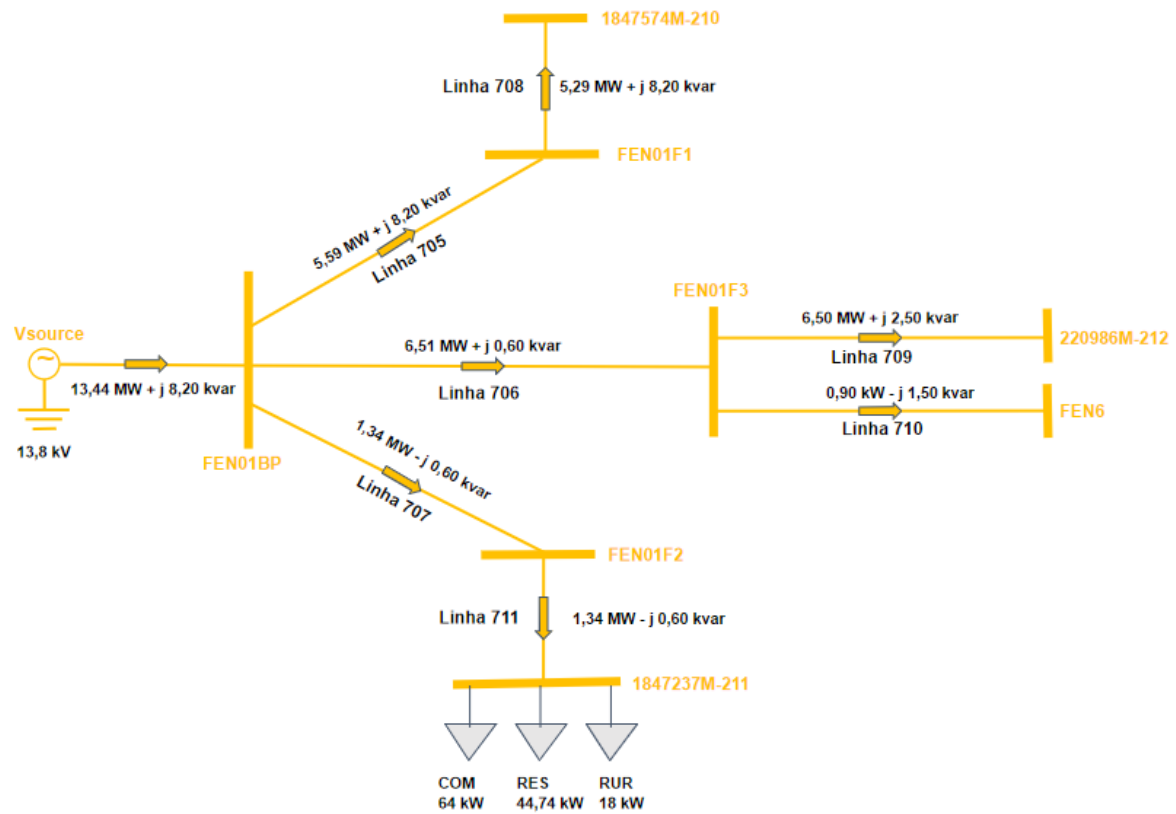
Tabela 7 - Dados do Circuito Simplificado da

Figura 30 Extraído do Sistema

Elemento	Trecho		Comprimento (km)
	De	Para	
Linha 705	FEN01BP	FEN01F1	0,00001
Linha 706	FEN01BP	FEN01F3	0,00001
Linha 707	FEN01BP	FEN01F2	0,00001
Linha 708	FEN01F1	1847574M-210	0,89756
Linha 709	FEN01F3	220986M-212	0,02845
Linha 710	FEN01F3	FEN6	0,00003
Linha 711	FEN01F2	1847237M-211	0,44846

Fonte: O autor.

Figura 30 – Fluxo de Potência do Circuito Simplificado do Sistema contendo o Alimentador Principal



Fonte: O autor.

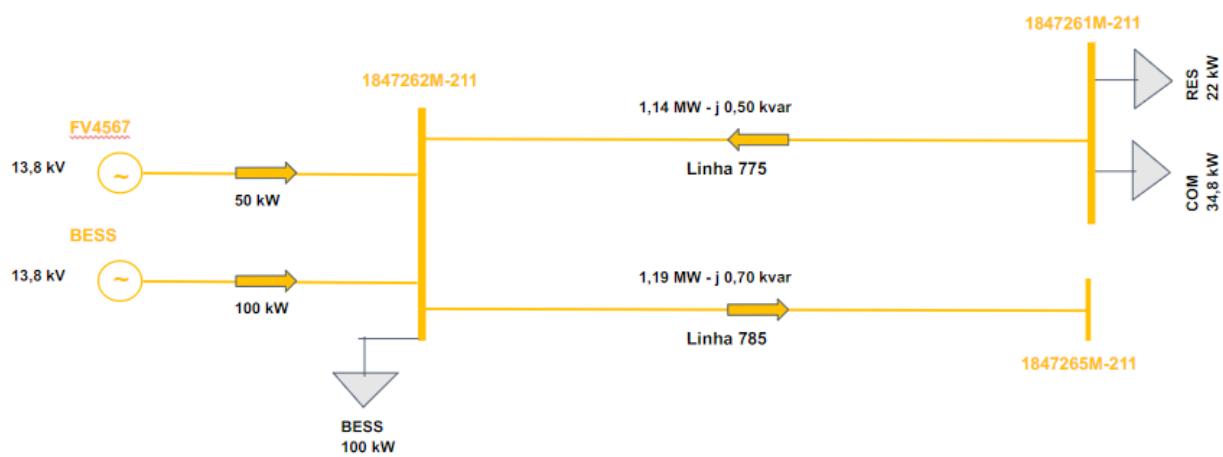
Já a Tabela 8 indica os dados das linhas que interligam as duas barras presentes no circuito apresentado na Figura 31 apresenta o fluxo de potência de outro circuito simplificado, composto pelo gerador fotovoltaico “FV4567”, pelo gerador “BESS”, 2 linhas de distribuição e algumas cargas.

Tabela 8 - Dados do Circuito Simplificado da Figura 31 Extraído do Sistema

Elemento	Trecho		Comprimento (km)
	De	Para	
Linha 775	1847261M-211	1847262M-211	0,04506
Linha 785	1847262M-211	1847265M-211	0,13576

Fonte: O autor.

Figura 31 - Fluxo de Potência do Circuito Simplificado contendo o Gerador FV 4567



Fonte: O autor.

5 CONCLUSÕES E PROPOSTAS DE CONTINUIDADE

O OpenDSS foi escolhido e utilizado como ferramenta para analisar os impactos de conexões ao sistema de distribuição da Ilha. Sendo possível concluir que o software correspondeu aos objetivos propostos, uma vez que o sistema simulado convergiu, sendo necessárias apenas duas iterações. Foi possível obter o fluxo de potência entre os barramentos que era um dos objetivos a serem alcançados e destaca-se, como mencionado anteriormente, que apenas 0,14% de toda potência ativa do sistema foi perdida. Resultado que era esperado devido à consideração do sistema elétrico ser equilibrado.

Não foi detectada a ocorrência de problemas de subtensão e/ou sobretensão que comprometessem a distribuição e a qualidade da energia elétrica entregue ao consumidor representado pelas cargas. Logo, nesse caso não houve a detecção da necessidade de realização de obras de reforços no sistema. Porém, é importante enfatizar mais uma vez que foram adotadas algumas considerações na rede elétrica estudada.

Percebeu-se que as tensões dos barramentos sofreram um decréscimo sem a conexão dos geradores fotovoltaicos, devido ao aumento da corrente conduzida pelas linhas de distribuição para atender a mesma carga demandada pelo sistema. Essa elevação da corrente resulta numa maior queda de tensão nas linhas e consequentemente a redução da tensão dos barramentos. Portanto, caso no futuro, o sistema enfrente problemas de subtensão, uma das soluções seria a conexão de usinas solares em um dos barramentos da rede a fim de compensar a carga local e consequentemente elevar a tensão das barras, respeitando os limites de tensão pré-estabelecidos pela ANEEL e as capacidades de carregamento dos ramais. Adicionalmente, é importante destacar que as usinas solares geram energia apenas no período fora ponta. Logo, caso o problema de subtensão persista no horário ponta, outra alternativa de solução é a conexão de elementos armazenadores de energia, como banco de baterias, no barramento.

5.1 Trabalhos Futuros

Com o intuito de aprimorar o atual trabalho, propõe-se que sejam acrescentados: um controle de despacho do armazenamento de energia, um sistema de transferência de carga com o objetivo de automatizar o sistema e que seja feita uma análise de curto-circuito.

Sugere-se, também, que futuros trabalhos possam utilizar outras plataformas que são compatíveis com o OpenDSS, tal como o MATLAB de forma a controlar ou adicionar eventos ao sistema. Visando alcançar tais objetivos propostos, são disponibilizados no APÊNDICE 1 os parâmetros das linhas elétricas e os dados das cargas, no APÊNDICE 2, utilizadas nesse estudo.

REFERÊNCIAS

1. KAGAN, N.; OLIVEIRA, C. C. B. D.; ROBBIA, E. J. In: _____. **Introdução aos sistemas de distribuição de energia elétrica**. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA (ABGD). ABGD, 01 Fevereiro 2023. Disponível em: <<https://www.abgd.com.br/portal/geracao-propria-de-energia-eletrica-alcanca-17-gw-de-capacidade/>>. Acesso em: Março 2023.
3. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). BIBLIOTECA ANEEL. **ANEEL**, Abril 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: DEZEMBRO 2022.
4. PLANALTO DO GOVERNO BRASILEIRO, 2022. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/L14300.htm>. Acesso em: Março 2023.
5. BRITO, L. et al. Impactos da geração distribuída fotovoltaica na tensão elétrica de uma rede de distribuição em baixa tensão. **O Setor Elétrico**, 18 Outubro 2022. Disponível em: <<https://www.osetoreletrico.com.br/impactos-da-geracao-distribuida-fotovoltaica-na-tensao-eletrica-de-uma-rede-de-distribuicao-em-baixa-tensao/>>.
6. BOÇON, G. S. ANÁLISE DO IMPACTO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **BMD-UNB**, Brasília, 2019. Disponível em: <bdm.unb.br/bitstream/10483/24732/1/2019_GustavoSchafhauserBocon_tcc.pdf>.
7. JATOBÁ, M. Economia, 21 Março 2022. Disponível em: <<https://www.folhape.com.br/economia/projeto-trilha-verde-e-lancado-para-promover-energia-limpa-em-fernando/220298/>>.
8. GARCIA, D.; DUZZI, F. E. Tópicos de sistemas de transmissão e de distribuição de energia elétrica. **Distribuição de energia**, Fevereiro 2012. 52-63.
9. DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA UNESP. SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO. **UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**. Disponível em: <https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/apostila_sdee_01>. Acesso em: 29 dez. 2022.
10. ANEEL. CEDOC - RES 1000. **ANEEL**, 7 dez. 2021. ISSN ANEEL. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000>>. Acesso em: 29 dez. 2022.
11. ANEEL. CEDOC - RES 956. **ANEEL**, 2021. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2021956_2_7>. Acesso em: 29 dez. 2022.
12. ANEEL. **Nota técnica 0104/2014-SRD - Aprimoramento dos procedimentos e da metodologia de cálculo de perdas na distribuição regulamentada no Módulo 7 - Cálculo de Perdas na Distribuição do PRODIST**. ANEEL. [S.l.]. 2014.
13. MOREIRA, A. F. F. **Reconfiguração automática de redes de distribuição considerando fontes renováveis de energia elétrica**. UFPE. Recife, p. 26-28. 2022. (DEE - UFPE).
14. ROCHA, C.; RADATZ, P. **Algoritmo de Fluxo de Potência do OpenDSS**. [S.l.]. 2018.
15. MCDERMOTT, T. Klusolve. Disponível em: <http://sourceforge.net/projects/klusolve/?source=typ_redirect>. Acesso em: 27 dez. 2022.
16. ECOTX ENERGY DATA. **Ecotx**. Disponível em: <<https://www.ecotx.com.br/>>. Acesso em: 10 Janeiro 2023.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 - DADOS DAS LINHAS DA REDE ELÉTRICA

Tabela 9- Parâmetros das Linhas do Sistema Elétrico

Nome da linha	Barra 1	Barra 2	Distância (km)	Resistência (Ω)	Reatância (Ω)
705	FEN01BP	FEN01F1	0,00001	0,100000	0,100000
706	FEN01BP	FEN01F3	0,00001	0,100000	0,100000
707	FEN01BP	FEN01F2	0,00001	0,100000	0,100000
708	FEN01F1	1847574M-210	0,89756	0,018960	0,020852
709	FEN01F3	220986M-212	0,02845	0,000350	0,000386
710	FEN01F3	FEN6	0,00003	0,000001	0,000001
711	FEN01F2	1847237M-211	0,44846	0,075571	0,028574
712	1847704M-210	1847706M-210	0,03905	0,827000	0,910490
713	1847704M-210	1847705M-210	0,02103	0,827000	0,910490
714	1847409M-212	1847411M-212	0,04522	0,029045	0,010981
715	1847409M-212	1847432M-212	0,14711	0,073571	0,027814
716	1847318M-211	5702285M-211	0,02066	0,827000	0,910490
717	1847318M-211	1847319M-211	0,05119	1,308000	0,494500
718	1847318M-211	5609019M-211	0,03890	0,050869	0,019232
719	1847686M-210	1847698M-210	0,05397	0,044633	0,049139
720	10323542M-211	1847315M-211	0,02394	1,308000	0,494500
721	1847351M-211	1847389M-211	0,05170	0,067624	0,025566
722	1847237M-211	1847261M-211	0,60463	0,017212	0,006507
723	10126753M-212	5671182M-212	0,01909	1,308000	0,494500
724	10126753M-212	10126757M-212	0,16079	0,041672	0,045879
725	10720454M-212	10720455M-212	0,01851	0,827000	0,910490
726	1847646M-210	1847647M-210	0,07063	0,058411	0,064308
727	1847411M-212	10336887M-212	0,01724	0,991000	0,400000
728	1847411M-212	10406016M-212	0,07752	0,090476	0,035078
729	1847657M-210	1847660M-210	0,09036	0,031281	0,034439
730	1847657M-210	1847686M-210	0,15236	0,036033	0,014415
731	1847432M-212	1847440M-212	0,15144	0,070326	0,026587
732	1847493M-212	1847494M-212	0,01476	1,308000	0,494500
733	1847493M-212	1847546M-212	0,35156	0,019196	0,007257
734	1847574M-210	1847581M-210	0,27263	0,004684	0,001771
735	1847574M-210	1847594M-210	0,19674	0,010021	0,011033
736	221008M-212	5873410M-212	0,45169	0,015747	0,005953
737	5609019M-211	10343568M-211	0,00509	0,991000	0,400000
738	10288754M-211	10323542M-211	0,08840	0,115627	0,043714
739	10288754M-211	10288751M-211	0,35227	0,039483	0,015937
740	5873410M-212	1847181M-212	0,01837	1,308000	0,494500

Nome da linha	Barra 1	Barra 2	Distância (km)	Resistência (Ω)	Reatância (Ω)
741	5873410M-212	1847409M-212	0,79447	0,019898	0,007524
742	6081174M-212	5833699M-212	0,04100	0,033907	0,037330
743	6081174M-212	5833652M-212	0,28862	0,010012	0,011023
744	5671184M-210	1847630M-210	0,08158	0,106707	0,040341
745	5671184M-210	1847623M-210	0,05373	0,070279	0,026569
746	1847286M-211	1847296M-211	0,34402	0,023194	0,009362
747	1847286M-211	1847381M-211	0,40506	0,013404	0,005067
748	1847440M-212	1847441M-212	0,04545	1,308000	0,494500
749	1847440M-212	10126753M-212	0,08200	0,002843	0,003131
750	1847441M-212	10720501M-212	0,16759	0,009945	0,003760
751	1847441M-212	1847444M-212	0,11085	0,006660	0,002518
752	1847594M-210	1847600M-210	0,03918	0,827000	0,910490
753	1847600M-210	1847611M-210	0,81520	0,004959	0,005460
754	10720501M-212	10720480M-212	0,04449	0,991000	0,400000
755	10720501M-212	1847487M-212	0,63869	0,016907	0,006392
756	1847655M-210	1847657M-210	0,08226	0,068029	0,074897
757	1847698M-210	1847699M-210	0,04568	0,827000	0,910490
758	10288751M-211	1847351M-211	0,43279	0,006931	0,002798
759	1847296M-211	10288754M-211	0,55078	0,020952	0,008428
760	221015M-212	6081174M-212	0,11925	0,020143	0,022177
761	221015M-212	10720454M-212	0,19525	0,001871	0,000756
762	220985M-212	221015M-212	0,01998	0,827000	0,910490
763	220986M-212	220985M-212	0,02361	0,130800	0,494500
764	220986M-212	221008M-212	0,10732	0,056598	0,021397
765	1847265M-211	1847269M-211	0,21645	0,013781	0,015172
766	1847265M-211	1847286M-211	0,38144	0,069422	0,026245
767	1847649M-210	1847713M-210	0,04635	1,308000	0,494500
768	1847649M-210	1847655M-210	0,24837	0,003693	0,004065
769	1847444M-212	1847446M-212	0,09360	0,122429	0,046285
770	1847787M-210	1847740M-210	1,12061	0,017278	0,019023
771	1847647M-210	1847647M-210SB1	0,00001	0,100000	0,100000
772	1847647M-210	1847649M-210	0,04961	0,002036	0,002241
773	1847446M-212	1847447M-212	0,03424	0,827000	0,910490
774	1847446M-212	1847453M-212	0,06524	0,053953	0,059400
775	1847261M-211	1847262M-211	0,04506	1,308000	0,494500
776	1847487M-212	1847493M-212	0,20340	0,012470	0,004714
777	1847315M-211	10323545M-211	0,04265	0,596000	0,446800
778	1847315M-211	1847318M-211	0,13440	0,048907	0,018490
779	1847660M-210	1847787M-210	0,19319	0,009538	0,010501
780	1847699M-210	1863899M-210	0,00251	0,827000	0,910490
781	1847699M-210	1847704M-210	0,16108	0,010884	0,011983
782	1847611M-210	1847644M-210	0,19156	0,009078	0,009994
783	1847611M-210	5671184M-210	0,11007	0,006779	0,002563
784	1847494M-212	10272590M-212	0,14098	0,030606	0,030433
785	1847262M-211	1847265M-211	0,13576	0,066307	0,025068
786	1847644M-210	10522386M-210	0,22850	0,007845	0,003166

Nome da linha	Barra 1	Barra 2	Distância (km)	Resistência (Ω)	Reatância (Ω)
787	1847644M-210	1847646M-210	0,08369	0,069212	0,076199
788	FEN6	FEN8	0,00001	0,100000	0,100000
789	FEN6	FEN11	0,00001	0,100000	0,100000
790	FEN6	FEN2	0,00003	0,000001	0,000001
791	FEN6	FEN36	0,00002	0,000002	0,000002
792	Sourcebus	FEN01BP	0,00100	0,100000	0,100000

Fonte: O autor.

APÊNDICE 2 - DADOS DAS CARGAS DA REDE ELÉTRICA

Tabela 10 - Dados das Cargas do Sistema Elétrico

Nome da Carga	Barra Conectada	Nº de Fases	Tensão Nominal (kV)	Potência Ativa (kW)	Fator de Potência
7019274190	220985M-212	3	13,8	100,00	1
2567205013	5833699M-212	3	13,8	232,48	1
1371164029	10406016M-212	3	13,8	75,00	1
7019760701	1847705M-210	3	13,8	16,00	1
1370982020	1847660M-210	3	13,8	138,93	1
1371207011	1847494M-212	3	13,8	16,00	1
1371196028	1847389M-211	3	13,8	120,00	1
4005451731	5702285M-211	3	13,8	90,00	1
7009853655	5833652M-212	3	13,8	135,00	1
7022699665	10336887M-212	3	13,8	206,27	1
7012259942	10323545M-211	3	13,8	16,00	1
2577843018	5833652M-212	3	13,8	60,00	1
1371290016	5671182M-212	3	13,8	30,00	1
1847237M-211_RES-Tipo1	1847237M-211	3	13,8	2,00	1
1847237M-211_RES-Tipo3	1847237M-211	3	13,8	21,00	1
1847237M-211_RES-Tipo5	1847237M-211	3	13,8	17,00	1
1847237M-211_RES-Tipo6	1847237M-211	3	13,8	2,00	1
1847237M-211_RES-Tipo10	1847237M-211	3	13,8	2,74	1
1847237M-211_RUR-Tipo1	1847237M-211	3	13,8	18,00	1
1847237M-211_COM-Tipo2	1847237M-211	3	13,8	6,00	1
1847237M-211_COM-Tipo3	1847237M-211	3	13,8	10,00	1
1847237M-211_COM-Tipo5	1847237M-211	3	13,8	9,00	1
1847237M-211_COM-Tipo6	1847237M-211	3	13,8	16,00	1

Nome da Carga	Barra Conectada	Nº de Fases	Tensão Nominal (kV)	Potência Ativa (kW)	Fator de Potência
1847237M-211_COM-Tipo7	1847237M-211	3	13,8	18,00	1
1847237M-211_COM-Tipo8	1847237M-211	3	13,8	3,00	1
1847237M-211_COM-Tipo10	1847237M-211	3	13,8	2,00	1
1847411M-212_RES-Tipo5	1847411M-212	3	13,8	16,00	1
1847411M-212_COM-Tipo6	1847411M-212	3	13,8	6,00	1
1847411M-212_COM-Tipo7	1847411M-212	3	13,8	73,65	1
1847432M-212_RES-Tipo1	1847432M-212	3	13,8	27,42	1
1847432M-212_RES-Tipo2	1847432M-212	3	13,8	53,72	1
1847432M-212_RES-Tipo3	1847432M-212	3	13,8	45,32	1
1847432M-212_RES-Tipo4	1847432M-212	3	13,8	22,00	1
1847432M-212_RES-Tipo5	1847432M-212	3	13,8	24,09	1
1847432M-212_RES-Tipo6	1847432M-212	3	13,8	41,93	1
1847432M-212_RES-Tipo7	1847432M-212	3	13,8	27,40	1
1847432M-212_RES-Tipo8	1847432M-212	3	13,8	11,00	1
1847432M-212_RES-Tipo9	1847432M-212	3	13,8	154,80	1
1847432M-212_RES-Tipo10	1847432M-212	3	13,8	30,00	1
1847432M-212_COM-Tipo1	1847432M-212	3	13,8	18,00	1
1847432M-212_COM-Tipo2	1847432M-212	3	13,8	6,00	1
1847432M-212_COM-Tipo4	1847432M-212	3	13,8	3,00	1
1847432M-212_COM-Tipo5	1847432M-212	3	13,8	30,00	1
1847432M-212_COM-Tipo6	1847432M-212	3	13,8	71,00	1
1847432M-212_COM-Tipo8	1847432M-212	3	13,8	10,80	1
1847432M-212_COM-Tipo9	1847432M-212	3	13,8	40,00	1
1847432M-212_SP-Tipo1	1847432M-212	3	13,8	2,00	1
1847319M-211_RES-Tipo1	1847319M-211	3	13,8	9,12	1
1847319M-211_RES-	1847319M-	3	13,8	29,00	1

Nome da Carga	Barra Conectada	Nº de Fases	Tensão Nominal (kV)	Potência Ativa (kW)	Fator de Potência
Tipo2	211				
1847319M-211_RES-Tipo3	1847319M-211	3	13,8	2,00	1
1847319M-211_RES-Tipo4	1847319M-211	3	13,8	58,21	1
1847319M-211_RES-Tipo5	1847319M-211	3	13,8	2,00	1
1847319M-211_RES-Tipo6	1847319M-211	3	13,8	5,00	1
1847319M-211_RES-Tipo7	1847319M-211	3	13,8	6,00	1
1847319M-211_RES-Tipo9	1847319M-211	3	13,8	48,00	1
1847319M-211_RES-Tipo10	1847319M-211	3	13,8	15,00	1
1847319M-211_COM-Tipo2	1847319M-211	3	13,8	18,00	1
1847319M-211_COM-Tipo4	1847319M-211	3	13,8	16,00	1
1847319M-211_SP-Tipo1	1847319M-211	3	13,8	3,21	1
1847698M-210_IP-Tipo1	1847698M-210	3	13,8	1,50	1
1847698M-210_RES-Tipo1	1847698M-210	3	13,8	127,60	1
1847698M-210_RES-Tipo2	1847698M-210	3	13,8	29,53	1
1847698M-210_RES-Tipo3	1847698M-210	3	13,8	18,00	1
1847698M-210_RES-Tipo4	1847698M-210	3	13,8	10,15	1
1847698M-210_RES-Tipo5	1847698M-210	3	13,8	31,00	1
1847698M-210_RES-Tipo6	1847698M-210	3	13,8	15,00	1
1847698M-210_RES-Tipo8	1847698M-210	3	13,8	18,00	1
1847698M-210_RES-Tipo9	1847698M-210	3	13,8	50,00	1
1847698M-210_COM-Tipo1	1847698M-210	3	13,8	34,00	1
1847698M-210_COM-Tipo3	1847698M-210	3	13,8	48,00	1
1847698M-210_COM-Tipo5	1847698M-210	3	13,8	18,00	1
1847698M-210_COM-Tipo6	1847698M-210	3	13,8	21,86	1
1847698M-210_COM-Tipo7	1847698M-210	3	13,8	6,80	1
1847698M-210_COM-Tipo8	1847698M-210	3	13,8	32,42	1

Nome da Carga	Barra Conectada	Nº de Fases	Tensão Nominal (kV)	Potência Ativa (kW)	Fator de Potência
1847698M-210_COM-Tipo9	1847698M-210	3	13,8	53,00	1
1847698M-210_COM-Tipo10	1847698M-210	3	13,8	26,00	1
1847698M-210_SP-Tipo1	1847698M-210	3	13,8	16,00	1
1847261M-211_RES-Tipo1	1847261M-211	3	13,8	18,00	1
1847261M-211_RES-Tipo5	1847261M-211	3	13,8	2,00	1
1847261M-211_RES-Tipo10	1847261M-211	3	13,8	2,00	1
1847261M-211_COM-Tipo1	1847261M-211	3	13,8	33,00	1
1847261M-211_COM-Tipo10	1847261M-211	3	13,8	1,80	1
10126757M-212_RES-Tipo1	10126757M-212	3	13,8	213,67	1
10126757M-212_RES-Tipo2	10126757M-212	3	13,8	123,13	1
10126757M-212_RES-Tipo3	10126757M-212	3	13,8	105,00	1
10126757M-212_RES-Tipo4	10126757M-212	3	13,8	120,00	1
10126757M-212_RES-Tipo5	10126757M-212	3	13,8	30,00	1
10126757M-212_RES-Tipo6	10126757M-212	3	13,8	60,00	1
10126757M-212_RES-Tipo7	10126757M-212	3	13,8	15,00	1
10126757M-212_RES-Tipo10	10126757M-212	3	13,8	73,50	1
1847660M-210_RES-Tipo1	1847660M-210	3	13,8	31,00	1
1847660M-210_RES-Tipo2	1847660M-210	3	13,8	6,00	1
1847660M-210_RES-Tipo3	1847660M-210	3	13,8	23,00	1
1847660M-210_RES-Tipo4	1847660M-210	3	13,8	21,00	1
1847660M-210_RES-Tipo5	1847660M-210	3	13,8	33,88	1
1847660M-210_RES-Tipo7	1847660M-210	3	13,8	15,00	1
1847660M-210_RES-Tipo10	1847660M-210	3	13,8	16,00	1
1847660M-210_COM-Tipo1	1847660M-210	3	13,8	18,00	1
1847660M-210_COM-Tipo3	1847660M-210	3	13,8	2,00	1
1847660M-	1847660M-	3	13,8	23,00	1

Nome da Carga	Barra Conectada	Nº de Fases	Tensão Nominal (kV)	Potência Ativa (kW)	Fator de Potência
210_COM-Tipo4	210				
1847660M-210_COM-Tipo5	1847660M-210	3	13,8	91,00	1
1847660M-210_COM-Tipo6	1847660M-210	3	13,8	16,00	1
1847660M-210_COM-Tipo10	1847660M-210	3	13,8	54,80	1
1847686M-210_RES-Tipo1	1847686M-210	3	13,8	32,00	1
1847686M-210_RES-Tipo2	1847686M-210	3	13,8	18,00	1
1847686M-210_RES-Tipo3	1847686M-210	3	13,8	18,74	1
1847686M-210_RES-Tipo4	1847686M-210	3	13,8	2,00	1
1847686M-210_RES-Tipo6	1847686M-210	3	13,8	29,79	1
1847686M-210_RES-Tipo8	1847686M-210	3	13,8	15,00	1
1847686M-210_RES-Tipo9	1847686M-210	3	13,8	49,00	1
1847686M-210_RES-Tipo10	1847686M-210	3	13,8	54,71	1
1847686M-210_COM-Tipo1	1847686M-210	3	13,8	26,00	1
1847686M-210_COM-Tipo2	1847686M-210	3	13,8	2,00	1
1847686M-210_COM-Tipo3	1847686M-210	3	13,8	178,00	1
1847686M-210_COM-Tipo4	1847686M-210	3	13,8	67,25	1
1847686M-210_COM-Tipo5	1847686M-210	3	13,8	2,00	1
1847686M-210_COM-Tipo7	1847686M-210	3	13,8	80,05	1
1847686M-210_COM-Tipo8	1847686M-210	3	13,8	5,95	1
1847686M-210_COM-Tipo9	1847686M-210	3	13,8	6,00	1
1847686M-210_COM-Tipo10	1847686M-210	3	13,8	11,00	1
1847686M-210_IND-Tipo4	1847686M-210	3	13,8	33,00	1
1847494M-212_RES-Tipo1	1847494M-212	3	13,8	16,00	1
1847494M-212_RES-Tipo2	1847494M-212	3	13,8	15,00	1
1847494M-212_RES-Tipo3	1847494M-212	3	13,8	3,00	1
1847494M-212_RES-Tipo4	1847494M-212	3	13,8	15,00	1

Nome da Carga	Barra Conectada	Nº de Fases	Tensão Nominal (kV)	Potência Ativa (kW)	Fator de Potência
1847494M-212_RES-Tipo8	1847494M-212	3	13,8	1,00	1
1847494M-212_RES-Tipo10	1847494M-212	3	13,8	1,00	1
1847494M-212_COM-Tipo1	1847494M-212	3	13,8	18,70	1
1847494M-212_COM-Tipo2	1847494M-212	3	13,8	16,00	1
1847494M-212_COM-Tipo3	1847494M-212	3	13,8	28,00	1
1847494M-212_COM-Tipo5	1847494M-212	3	13,8	2,55	1
1847494M-212_COM-Tipo6	1847494M-212	3	13,8	59,38	1
1847494M-212_COM-Tipo7	1847494M-212	3	13,8	18,00	1
1847494M-212_COM-Tipo9	1847494M-212	3	13,8	33,00	1
1847494M-212_COM-Tipo10	1847494M-212	3	13,8	20,00	1
1847546M-212_RES-Tipo1	1847546M-212	3	13,8	45,45	1
1847546M-212_RES-Tipo2	1847546M-212	3	13,8	4,00	1
1847546M-212_RES-Tipo4	1847546M-212	3	13,8	16,00	1
1847546M-212_RES-Tipo5	1847546M-212	3	13,8	32,66	1
1847546M-212_RES-Tipo9	1847546M-212	3	13,8	4,00	1
1847546M-212_RES-Tipo10	1847546M-212	3	13,8	16,00	1
1847546M-212_RUR-Tipo9	1847546M-212	3	13,8	13,63	1
1847546M-212_COM-Tipo9	1847546M-212	3	13,8	15,00	1
1847581M-210_RES-Tipo1	1847581M-210	3	13,8	141,91	1
1847581M-210_RES-Tipo2	1847581M-210	3	13,8	75,66	1
1847581M-210_RES-Tipo3	1847581M-210	3	13,8	4,00	1
1847581M-210_RES-Tipo4	1847581M-210	3	13,8	4,00	1
1847581M-210_RES-Tipo5	1847581M-210	3	13,8	50,50	1
1847581M-210_RES-Tipo6	1847581M-210	3	13,8	7,50	1
1847581M-210_RES-Tipo7	1847581M-210	3	13,8	7,11	1
1847581M-210_RES-	1847581M-	3	13,8	52,50	1

Nome da Carga	Barra Conectada	Nº de Fases	Tensão Nominal (kV)	Potência Ativa (kW)	Fator de Potência
Tipo8	210				
1847581M-210_RES-Tipo10	1847581M-210	3	13,8	71,50	1
1847581M-210_COM-Tipo8	1847581M-210	3	13,8	2,50	1
1847581M-210_COM-Tipo10	1847581M-210	3	13,8	16,00	1
1847581M-210_SP-Tipo9	1847581M-210	3	13,8	16,00	1
1847594M-210_RES-Tipo1	1847594M-210	3	13,8	45,88	1
1847594M-210_RES-Tipo2	1847594M-210	3	13,8	0,60	1
1847594M-210_RES-Tipo4	1847594M-210	3	13,8	22,00	1
1847594M-210_RES-Tipo6	1847594M-210	3	13,8	9,28	1
1847594M-210_RES-Tipo7	1847594M-210	3	13,8	18,00	1
1847594M-210_RES-Tipo10	1847594M-210	3	13,8	2,00	1
1847594M-210_RUR-Tipo10	1847594M-210	3	13,8	25,00	1
1847594M-210_COM-Tipo3	1847594M-210	3	13,8	10,00	1
1847594M-210_COM-Tipo4	1847594M-210	3	13,8	43,00	1
1847594M-210_COM-Tipo5	1847594M-210	3	13,8	16,00	1
1847594M-210_COM-Tipo8	1847594M-210	3	13,8	5,40	1
1847594M-210_COM-Tipo10	1847594M-210	3	13,8	40,00	1
1847594M-210_SP-Tipo5	1847594M-210	3	13,8	16,00	1
10343568M-211_COM-Tipo5	10343568M-211	3	13,8	15,00	1
10323542M-211_COM-Tipo3	10323542M-211	3	13,8	16,51	1
10323542M-211_COM-Tipo5	10323542M-211	3	13,8	18,00	1
10323542M-211_COM-Tipo9	10323542M-211	3	13,8	15,00	1
10288751M-211_RES-Tipo7	10288751M-211	3	13,8	75,00	1
10288751M-211_RES-Tipo8	10288751M-211	3	13,8	4,00	1
1847181M-212_RES-Tipo1	1847181M-212	3	13,8	2,00	1
1847181M-212_RES-Tipo2	1847181M-212	3	13,8	20,00	1

Nome da Carga	Barra Conectada	Nº de Fases	Tensão Nominal (kV)	Potência Ativa (kW)	Fator de Potência
1847181M-212_RES-Tipo3	1847181M-212	3	13,8	18,00	1
1847181M-212_RES-Tipo5	1847181M-212	3	13,8	12,00	1
1847181M-212_RES-Tipo7	1847181M-212	3	13,8	18,00	1
1847181M-212_RES-Tipo8	1847181M-212	3	13,8	15,00	1
1847181M-212_COM-Tipo8	1847181M-212	3	13,8	29,90	1
1847630M-210_RES-Tipo1	1847630M-210	3	13,8	42,00	1
1847630M-210_RES-Tipo2	1847630M-210	3	13,8	18,00	1
1847630M-210_RES-Tipo6	1847630M-210	3	13,8	28,65	1
1847630M-210_RES-Tipo9	1847630M-210	3	13,8	33,00	1
1847630M-210_RES-Tipo10	1847630M-210	3	13,8	18,00	1
1847630M-210_COM-Tipo3	1847630M-210	3	13,8	16,00	1
1847630M-210_COM-Tipo4	1847630M-210	3	13,8	121,00	1
1847630M-210_COM-Tipo5	1847630M-210	3	13,8	6,00	1
1847630M-210_COM-Tipo6	1847630M-210	3	13,8	57,00	1
1847623M-210_RES-Tipo1	1847623M-210	3	13,8	22,00	1
1847623M-210_RES-Tipo2	1847623M-210	3	13,8	115,97	1
1847623M-210_RES-Tipo3	1847623M-210	3	13,8	52,00	1
1847623M-210_RES-Tipo4	1847623M-210	3	13,8	115,95	1
1847623M-210_RES-Tipo5	1847623M-210	3	13,8	4,00	1
1847623M-210_RES-Tipo6	1847623M-210	3	13,8	51,12	1
1847623M-210_RES-Tipo7	1847623M-210	3	13,8	1,80	1
1847623M-210_RES-Tipo8	1847623M-210	3	13,8	54,00	1
1847623M-210_RES-Tipo9	1847623M-210	3	13,8	16,00	1
1847623M-210_RES-Tipo10	1847623M-210	3	13,8	144,00	1
1847623M-210_RUR-Tipo9	1847623M-210	3	13,8	16,00	1
1847623M-	1847623M-	3	13,8	33,00	1

Nome da Carga	Barra Conectada	Nº de Fases	Tensão Nominal (kV)	Potência Ativa (kW)	Fator de Potência
210_COM-Tipo1	210				
1847623M-210_COM-Tipo2	1847623M-210	3	13,8	16,00	1
1847623M-210_COM-Tipo3	1847623M-210	3	13,8	2,00	1
1847623M-210_COM-Tipo4	1847623M-210	3	13,8	40,00	1
1847623M-210_COM-Tipo5	1847623M-210	3	13,8	50,00	1
1847623M-210_COM-Tipo6	1847623M-210	3	13,8	96,93	1
1847623M-210_COM-Tipo7	1847623M-210	3	13,8	29,00	1
1847623M-210_COM-Tipo8	1847623M-210	3	13,8	25,00	1
1847623M-210_COM-Tipo9	1847623M-210	3	13,8	3,24	1
1847623M-210_COM-Tipo10	1847623M-210	3	13,8	9,68	1
1847623M-210_SP-Tipo1	1847623M-210	3	13,8	3,00	1
1847296M-211_RES-Tipo1	1847296M-211	3	13,8	8,00	1
1847296M-211_RES-Tipo2	1847296M-211	3	13,8	2,00	1
1847296M-211_RES-Tipo4	1847296M-211	3	13,8	2,00	1
1847296M-211_RES-Tipo6	1847296M-211	3	13,8	3,78	1
1847296M-211_RES-Tipo8	1847296M-211	3	13,8	1,22	1
1847296M-211_RES-Tipo9	1847296M-211	3	13,8	15,00	1
1847296M-211_RES-Tipo10	1847296M-211	3	13,8	34,50	1
1847381M-211_RES-Tipo1	1847381M-211	3	13,8	8,00	1
1847381M-211_RES-Tipo2	1847381M-211	3	13,8	1,00	1
1847381M-211_RES-Tipo5	1847381M-211	3	13,8	5,00	1
1847381M-211_RES-Tipo6	1847381M-211	3	13,8	3,36	1
1847381M-211_RES-Tipo7	1847381M-211	3	13,8	7,30	1
1847381M-211_RES-Tipo8	1847381M-211	3	13,8	20,00	1
1847381M-211_RES-Tipo9	1847381M-211	3	13,8	1,03	1
1847381M-211_RES-Tipo10	1847381M-211	3	13,8	33,00	1

Nome da Carga	Barra Conectada	Nº de Fases	Tensão Nominal (kV)	Potência Ativa (kW)	Fator de Potência
1847381M-211_RUR-Tipo1	1847381M-211	3	13,8	75,00	1
1847381M-211_RUR-Tipo9	1847381M-211	3	13,8	18,00	1
1847381M-211_COM-Tipo1	1847381M-211	3	13,8	68,00	1
1847381M-211_COM-Tipo2	1847381M-211	3	13,8	34,00	1
1847381M-211_COM-Tipo5	1847381M-211	3	13,8	18,00	1
1847381M-211_COM-Tipo9	1847381M-211	3	13,8	2,00	1
1847381M-211_SP-Tipo9	1847381M-211	3	13,8	2,00	1
1847444M-212_RES-Tipo1	1847444M-212	3	13,8	38,00	1
1847444M-212_RES-Tipo2	1847444M-212	3	13,8	30,01	1
1847444M-212_RES-Tipo3	1847444M-212	3	13,8	97,00	1
1847444M-212_RES-Tipo4	1847444M-212	3	13,8	16,83	1
1847444M-212_RES-Tipo5	1847444M-212	3	13,8	51,00	1
1847444M-212_RES-Tipo6	1847444M-212	3	13,8	46,36	1
1847444M-212_RES-Tipo7	1847444M-212	3	13,8	6,25	1
1847444M-212_RES-Tipo8	1847444M-212	3	13,8	95,00	1
1847444M-212_RES-Tipo9	1847444M-212	3	13,8	53,17	1
1847444M-212_RES-Tipo10	1847444M-212	3	13,8	4,50	1
1847444M-212_COM-Tipo6	1847444M-212	3	13,8	9,00	1
1847444M-212_COM-Tipo7	1847444M-212	3	13,8	20,00	1
1847444M-212_COM-Tipo8	1847444M-212	3	13,8	18,00	1
10720480M-212_RES-Tipo1	10720480M-212	3	13,8	5,00	1
10720480M-212_RES-Tipo3	10720480M-212	3	13,8	12,00	1
10720480M-212_RES-Tipo4	10720480M-212	3	13,8	8,00	1
10720480M-212_RES-Tipo5	10720480M-212	3	13,8	6,99	1
10720480M-212_RES-Tipo6	10720480M-212	3	13,8	3,90	1
10720480M-	10720480M-	3	13,8	54,30	1

Nome da Carga	Barra Conectada	Nº de Fases	Tensão Nominal (kV)	Potência Ativa (kW)	Fator de Potência
212_RES-Tipo7	212				
10720480M-212_RES-Tipo8	10720480M-212	3	13,8	21,00	1
10720480M-212_RES-Tipo9	10720480M-212	3	13,8	18,00	1
10720480M-212_RES-Tipo10	10720480M-212	3	13,8	30,00	1
10720480M-212_COM-Tipo2	10720480M-212	3	13,8	18,00	1
10720480M-212_COM-Tipo3	10720480M-212	3	13,8	16,00	1
10720480M-212_COM-Tipo4	10720480M-212	3	13,8	2,00	1
10720480M-212_COM-Tipo6	10720480M-212	3	13,8	16,00	1
10720480M-212_COM-Tipo7	10720480M-212	3	13,8	8,44	1
10720480M-212_COM-Tipo10	10720480M-212	3	13,8	33,00	1
10720480M-212_SP-Tipo1	10720480M-212	3	13,8	4,00	1
1847487M-212_RES-Tipo1	1847487M-212	3	13,8	212,70	1
1847487M-212_RES-Tipo2	1847487M-212	3	13,8	53,00	1
1847487M-212_RES-Tipo3	1847487M-212	3	13,8	15,00	1
1847487M-212_RES-Tipo4	1847487M-212	3	13,8	19,00	1
1847487M-212_RES-Tipo5	1847487M-212	3	13,8	17,00	1
1847487M-212_RES-Tipo6	1847487M-212	3	13,8	22,50	1
1847487M-212_RES-Tipo7	1847487M-212	3	13,8	38,45	1
1847487M-212_RES-Tipo8	1847487M-212	3	13,8	77,00	1
1847487M-212_RES-Tipo9	1847487M-212	3	13,8	17,00	1
1847487M-212_RES-Tipo10	1847487M-212	3	13,8	29,29	1
1847487M-212_COM-Tipo1	1847487M-212	3	13,8	170,49	1
1847487M-212_COM-Tipo2	1847487M-212	3	13,8	92,15	1
1847487M-212_COM-Tipo3	1847487M-212	3	13,8	99,00	1
1847487M-212_COM-Tipo4	1847487M-212	3	13,8	16,00	1
1847487M-212_COM-Tipo5	1847487M-212	3	13,8	2,00	1

Nome da Carga	Barra Conectada	Nº de Fases	Tensão Nominal (kV)	Potência Ativa (kW)	Fator de Potência
1847487M-212_COM-Tipo6	1847487M-212	3	13,8	3,00	1
1847487M-212_COM-Tipo7	1847487M-212	3	13,8	20,00	1
1847487M-212_COM-Tipo8	1847487M-212	3	13,8	21,66	1
1847487M-212_COM-Tipo9	1847487M-212	3	13,8	47,40	1
1847487M-212_COM-Tipo10	1847487M-212	3	13,8	33,00	1
1847487M-212_SP-Tipo1	1847487M-212	3	13,8	32,00	1
1847351M-211_RES-Tipo3	1847351M-211	3	13,8	33,00	1
1847351M-211_RES-Tipo4	1847351M-211	3	13,8	2,00	1
1847351M-211_RES-Tipo5	1847351M-211	3	13,8	2,00	1
1847351M-211_COM-Tipo1	1847351M-211	3	13,8	18,00	1
1847351M-211_COM-Tipo2	1847351M-211	3	13,8	7,00	1
1847351M-211_COM-Tipo4	1847351M-211	3	13,8	11,00	1
1847351M-211_COM-Tipo5	1847351M-211	3	13,8	3,00	1
1847351M-211_COM-Tipo6	1847351M-211	3	13,8	16,00	1
1847351M-211_COM-Tipo9	1847351M-211	3	13,8	27,00	1
1847351M-211_SP-Tipo6	1847351M-211	3	13,8	25,00	1
1847351M-211_SP-Tipo8	1847351M-211	3	13,8	16,00	1
1847351M-211_SP-Tipo9	1847351M-211	3	13,8	16,00	1
220985M-212_IP-Tipo1	220985M-212	3	13,8	0,99	1
220985M-212_RES-Tipo1	220985M-212	3	13,8	15,00	1
220985M-212_RES-Tipo3	220985M-212	3	13,8	1,50	1
220985M-212_RES-Tipo4	220985M-212	3	13,8	7,50	1
220985M-212_RES-Tipo7	220985M-212	3	13,8	18,00	1
220985M-212_RES-Tipo9	220985M-212	3	13,8	2,50	1
220985M-212_RES-Tipo10	220985M-212	3	13,8	49,50	1
220985M-212_COM-	220985M-	3	13,8	28,00	1

Nome da Carga	Barra Conectada	Nº de Fases	Tensão Nominal (kV)	Potência Ativa (kW)	Fator de Potência
Tipo1	212				
220985M-212_COM-Tipo2	220985M-212	3	13,8	59,00	1
220985M-212_COM-Tipo3	220985M-212	3	13,8	27,00	1
220985M-212_COM-Tipo4	220985M-212	3	13,8	87,00	1
220985M-212_COM-Tipo5	220985M-212	3	13,8	11,00	1
220985M-212_COM-Tipo7	220985M-212	3	13,8	75,00	1
220985M-212_COM-Tipo8	220985M-212	3	13,8	28,00	1
220985M-212_COM-Tipo10	220985M-212	3	13,8	13,00	1
220985M-212_SP-Tipo1	220985M-212	3	13,8	10,00	1
221008M-212_RES-Tipo1	221008M-212	3	13,8	17,82	1
221008M-212_RES-Tipo2	221008M-212	3	13,8	29,00	1
221008M-212_RES-Tipo3	221008M-212	3	13,8	2,00	1
221008M-212_RES-Tipo4	221008M-212	3	13,8	4,00	1
221008M-212_RES-Tipo5	221008M-212	3	13,8	22,90	1
221008M-212_RES-Tipo6	221008M-212	3	13,8	10,93	1
221008M-212_RES-Tipo7	221008M-212	3	13,8	8,77	1
221008M-212_RES-Tipo8	221008M-212	3	13,8	15,00	1
221008M-212_RES-Tipo9	221008M-212	3	13,8	43,24	1
221008M-212_RES-Tipo10	221008M-212	3	13,8	19,70	1
221008M-212_RUR-Tipo9	221008M-212	3	13,8	75,00	1
221008M-212_RUR-Tipo10	221008M-212	3	13,8	16,00	1
221008M-212_COM-Tipo2	221008M-212	3	13,8	32,00	1
221008M-212_COM-Tipo3	221008M-212	3	13,8	35,00	1
221008M-212_COM-Tipo4	221008M-212	3	13,8	47,47	1
221008M-212_COM-Tipo5	221008M-212	3	13,8	11,00	1
221008M-212_COM-Tipo6	221008M-212	3	13,8	24,00	1

Nome da Carga	Barra Conectada	Nº de Fases	Tensão Nominal (kV)	Potência Ativa (kW)	Fator de Potência
221008M-212_COM-Tipo7	221008M-212	3	13,8	18,00	1
221008M-212_COM-Tipo8	221008M-212	3	13,8	4,30	1
221008M-212_COM-Tipo9	221008M-212	3	13,8	32,00	1
221008M-212_COM-Tipo10	221008M-212	3	13,8	18,00	1
221008M-212_IND-Tipo3	221008M-212	3	13,8	7,00	1
1847269M-211_COM-Tipo1	1847269M-211	3	13,8	5,00	1
1847269M-211_COM-Tipo5	1847269M-211	3	13,8	18,00	1
1847269M-211_COM-Tipo9	1847269M-211	3	13,8	30,00	1
1847713M-210_RES-Tipo1	1847713M-210	3	13,8	94,00	1
1847713M-210_RES-Tipo2	1847713M-210	3	13,8	18,00	1
1847713M-210_RES-Tipo3	1847713M-210	3	13,8	5,00	1
1847713M-210_RES-Tipo4	1847713M-210	3	13,8	48,00	1
1847713M-210_RES-Tipo5	1847713M-210	3	13,8	24,35	1
1847713M-210_RES-Tipo6	1847713M-210	3	13,8	3,04	1
1847713M-210_RES-Tipo7	1847713M-210	3	13,8	15,00	1
1847713M-210_RES-Tipo8	1847713M-210	3	13,8	18,00	1
1847713M-210_RES-Tipo9	1847713M-210	3	13,8	15,00	1
1847713M-210_RES-Tipo10	1847713M-210	3	13,8	18,00	1
1847713M-210_COM-Tipo1	1847713M-210	3	13,8	123,66	1
1847713M-210_COM-Tipo3	1847713M-210	3	13,8	32,00	1
1847713M-210_COM-Tipo4	1847713M-210	3	13,8	15,00	1
1847713M-210_COM-Tipo7	1847713M-210	3	13,8	70,00	1
1847713M-210_COM-Tipo8	1847713M-210	3	13,8	18,00	1
1847655M-210_RES-Tipo1	1847655M-210	3	13,8	15,00	1
1847655M-210_RES-Tipo7	1847655M-210	3	13,8	7,98	1
1847655M-210_RES-	1847655M-	3	13,8	15,00	1

Nome da Carga	Barra Conectada	Nº de Fases	Tensão Nominal (kV)	Potência Ativa (kW)	Fator de Potência
Tipo8	210				
1847655M-210_COM-Tipo3	1847655M-210	3	13,8	18,00	1
1847740M-210_RES-Tipo1	1847740M-210	3	13,8	18,00	1
1847740M-210_RES-Tipo2	1847740M-210	3	13,8	16,00	1
1847740M-210_RES-Tipo4	1847740M-210	3	13,8	2,00	1
1847740M-210_RES-Tipo7	1847740M-210	3	13,8	15,00	1
1847740M-210_RES-Tipo8	1847740M-210	3	13,8	18,00	1
1847740M-210_RES-Tipo9	1847740M-210	3	13,8	15,00	1
1847740M-210_COM-Tipo1	1847740M-210	3	13,8	162,00	1
1847740M-210_COM-Tipo2	1847740M-210	3	13,8	53,00	1
1847740M-210_COM-Tipo5	1847740M-210	3	13,8	76,00	1
1847740M-210_COM-Tipo6	1847740M-210	3	13,8	24,00	1
1847740M-210_COM-Tipo7	1847740M-210	3	13,8	5,00	1
1847740M-210_COM-Tipo8	1847740M-210	3	13,8	2,00	1
1847740M-210_COM-Tipo9	1847740M-210	3	13,8	20,00	1
1847740M-210_COM-Tipo10	1847740M-210	3	13,8	18,00	1
1847740M-210_IND-Tipo4	1847740M-210	3	13,8	16,00	1
1847447M-212_RES-Tipo1	1847447M-212	3	13,8	4,00	1
1847447M-212_RES-Tipo2	1847447M-212	3	13,8	4,00	1
1847447M-212_RES-Tipo3	1847447M-212	3	13,8	42,20	1
1847447M-212_RES-Tipo4	1847447M-212	3	13,8	24,89	1
1847447M-212_RES-Tipo5	1847447M-212	3	13,8	23,43	1
1847447M-212_RES-Tipo6	1847447M-212	3	13,8	56,42	1
1847447M-212_RES-Tipo7	1847447M-212	3	13,8	16,93	1
1847447M-212_RES-Tipo8	1847447M-212	3	13,8	241,20	1
1847447M-212_RES-Tipo9	1847447M-212	3	13,8	103,00	1

Nome da Carga	Barra Conectada	Nº de Fases	Tensão Nominal (kV)	Potência Ativa (kW)	Fator de Potência
1847447M-212_RES-Tipo10	1847447M-212	3	13,8	31,83	1
1847447M-212_COM-Tipo1	1847447M-212	3	13,8	68,04	1
1847447M-212_COM-Tipo3	1847447M-212	3	13,8	36,00	1
1847447M-212_COM-Tipo10	1847447M-212	3	13,8	74,69	1
1847453M-212_RES-Tipo1	1847453M-212	3	13,8	16,78	1
1847453M-212_RES-Tipo2	1847453M-212	3	13,8	18,00	1
1847453M-212_RES-Tipo3	1847453M-212	3	13,8	2,00	1
1847453M-212_RES-Tipo4	1847453M-212	3	13,8	6,00	1
1847453M-212_RES-Tipo6	1847453M-212	3	13,8	1,00	1
1847453M-212_RES-Tipo8	1847453M-212	3	13,8	18,00	1
1847453M-212_RES-Tipo10	1847453M-212	3	13,8	23,60	1
1847453M-212_COM-Tipo3	1847453M-212	3	13,8	41,13	1
1847453M-212_COM-Tipo10	1847453M-212	3	13,8	2,50	1
1847787M-210_RES-Tipo2	1847787M-210	3	13,8	12,51	1
1847787M-210_COM-Tipo1	1847787M-210	3	13,8	16,00	1
1847787M-210_COM-Tipo7	1847787M-210	3	13,8	3,00	1
1847787M-210_SP-Tipo1	1847787M-210	3	13,8	18,00	1
1863899M-210_RES-Tipo9	1863899M-210	3	13,8	15,00	1
1863899M-210_RES-Tipo10	1863899M-210	3	13,8	17,50	1
1863899M-210_COM-Tipo8	1863899M-210	3	13,8	3,00	1
10522386M-210_RES-Tipo1	10522386M-210	3	13,8	44,72	1
10522386M-210_RES-Tipo2	10522386M-210	3	13,8	73,00	1
10522386M-210_RES-Tipo3	10522386M-210	3	13,8	38,00	1
10522386M-210_RES-Tipo4	10522386M-210	3	13,8	55,96	1
10522386M-210_RES-Tipo5	10522386M-210	3	13,8	8,95	1
10522386M-	10522386M-	3	13,8	3,30	1

Nome da Carga	Barra Conectada	Nº de Fases	Tensão Nominal (kV)	Potência Ativa (kW)	Fator de Potência
210_RES-Tipo7	210				
10522386M-210_RES-Tipo8	10522386M-210	3	13,8	93,00	1
10522386M-210_RES-Tipo10	10522386M-210	3	13,8	25,66	1
10522386M-210_COM-Tipo1	10522386M-210	3	13,8	20,00	1
10522386M-210_COM-Tipo2	10522386M-210	3	13,8	21,63	1
10522386M-210_COM-Tipo4	10522386M-210	3	13,8	17,00	1
10522386M-210_COM-Tipo5	10522386M-210	3	13,8	22,00	1
10522386M-210_COM-Tipo6	10522386M-210	3	13,8	68,00	1
1847646M-210_IP-Tipo1	1847646M-210	3	13,8	15,00	1
1847646M-210_RES-Tipo3	1847646M-210	3	13,8	41,78	1
1847646M-210_RES-Tipo4	1847646M-210	3	13,8	30,00	1
1847646M-210_RES-Tipo5	1847646M-210	3	13,8	45,00	1
1847646M-210_RES-Tipo6	1847646M-210	3	13,8	15,00	1
1847646M-210_RES-Tipo7	1847646M-210	3	13,8	75,00	1
1847646M-210_RES-Tipo8	1847646M-210	3	13,8	16,90	1
1847646M-210_RES-Tipo9	1847646M-210	3	13,8	30,00	1
1847646M-210_COM-Tipo1	1847646M-210	3	13,8	16,00	1
1847646M-210_COM-Tipo2	1847646M-210	3	13,8	23,00	1
1847646M-210_COM-Tipo5	1847646M-210	3	13,8	12,00	1
1847646M-210_COM-Tipo9	1847646M-210	3	13,8	18,00	1
1847646M-210_COM-Tipo10	1847646M-210	3	13,8	2,00	1
EP_1	1847487M-212	3	13,8	44,00	1
EP_2	1847432M-212	3	13,8	22,00	1
EP_3	1847494M-212	3	13,8	22,00	1
EP_4	1847686M-210	3	13,8	22,00	1
EP_5	221008M-212	3	13,8	22,00	1

Nome da Carga	Barra Conectada	Nº de Fases	Tensão Nominal (kV)	Potência Ativa (kW)	Fator de Potência
EP_6	1847740M-210	3	13,8	22,00	1
EP_7	1847381M-211	3	13,8	7,00	1
EP_8	10288751M-211	3	13,8	7,00	1
EP_9	1847261M-211	3	13,8	22,00	1
EP_10	10406016M-212	3	13,8	7,00	1
EP_11	1847630M-210	3	13,8	7,00	1
BESS	1847262M-211	3	13,8	100,00	1

Fonte: O autor.