

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**WILLIAM MARTINS**

**AUTOSSUFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UM ALIMENTADOR: UMA PERCEPÇÃO  
PELA ÓTICA DE ENGENHARIA DE ENERGIA**

**Bagé  
2023**

**WILLIAM MARTINS**

**AUTOSSUFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UM ALIMENTADOR: UMA PERCEPÇÃO  
PELA ÓTICA DE ENGENHARIA DE ENERGIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Energia da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Enoque Dutra Garcia

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

M718a Martins, William

AUTOSSUFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UM ALIMENTADOR: UMA PERCEPÇÃO PELA ÓTICA DE ENGENHARIA DE ENERGIA / William Martins.

93 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -- Universidade Federal do Pampa, ENGENHARIA DE ENERGIA, 2023.

"Orientação: Enoque Dutra Garcia".

1. recursos energéticos distribuídos. 2. geração distribuída. 3. sistema elétrico de potência. 4. alimentador. 5. autossuficiência energética. I. Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

Universidade Federal do Pampa

WILLIAM MARTINS

**AUTOSSUFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UM ALIMENTADOR: UMA  
PERCEPÇÃO PELA ÓTICA DE ENGENHARIA DE ENERGIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Energia da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para o Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em 06 de fevereiro de 2023.

Banca  
examinadora:

---

Prof. Dr. Enoque Dutra Garcia  
Orientador  
UNIPAMPA

---

Prof. Dr. Pablo Fernando Soarde Costa  
UNIPAMPA

---

Prof. Dr. Paulo Ricardo da Silva Pereira  
UNISINOS



---

Assinado eletronicamente por **ENOQUE DUTRA GARCIA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 06/02/2023, às 15:11, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



---

Assinado eletronicamente por **PABLO FERNANDO SOARDI COSTA, PROFESSOR DO MAGISTERIOSUPERIOR**, em 06/02/2023, às 15:12, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



---

Assinado eletronicamente por **Paulo Ricardo da Silva Pereira, Usuário Externo**, em 06/02/2023, às 15:12, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



---

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1046004** e o código CRC **142CA5EC**.

---

Dedico este momento a todas as pessoas que me acompanham ou acompanharam durante a graduação.

## AGRADECIMENTO

Agradeço a minha mãe, minha maior inspiração e fonte motivadora, fazendo o possível e até o impossível para que eu pudesse concluir o grande sonho da graduação, com certeza as poucas vezes que nos víamos durante estes tempos nos fizeram ainda mais fortes e que este momento tenha um gosto ainda mais doce.

Agradeço a minha namorada Rafaela, por todo o suporte e incentivo dado para a conclusão deste objetivo, por ter sido meu ombro amigo nos momentos ruins e por ter sido minha companheira nos momentos de alegria, obrigado por tudo, pelos bons momentos compartilhados na Unipampa, pelas horas que passamos juntos estudando, pelos planos que traçamos e pelas conquistas que estamos tendo, te amo!

Agradeço ao meu pai, pelo suporte financeiro, fazendo que fosse possível cursar uma graduação em outra cidade.

Agradeço aos amigos que fiz durante esta estadia em Bagé, que com certeza fizeram com que este tempo passasse mais rápido e que existisse um sentimento de pertencimento ao lugar, pelas festas juntos, risadas, churrascos e tragoléu, ELFOS!

Com todo o carinho, levarei os ensinamentos de todos os professores, por todas as vezes que tiveram paciência, por todo o conhecimento transmitido, com certeza, estes momentos fizeram de mim uma pessoa melhor.

Termino então com meu agradecimento final, a quem levarei como os últimos ensinamentos obtidos na graduação, a um excelente profissional, dedicado, um caráter exemplar e conhecimento ímpar. Em uma era de influencers, os professores são uns dos primeiros influenciadores na vida das pessoas e com certeza o Professor Enoque é um na minha, uma referência na minha vida profissional, quem fez sentir gosto pelo estudo de Sistemas Elétricos de Potência, pelo tempo no GrEEEn, dos aprendizados não só de conhecimento acadêmico, mas como vivências pessoais que também contribuem para ser um humano melhor, por isso, não poderia de terminar sem o meu muito obrigado!

Raízes não são âncoras...

"Na vida, nós devemos ter raízes, e não âncoras. Raiz alimenta, âncora imobiliza. Quem tem âncoras vive apenas a nostalgia e não a saudade. Nostalgia é uma lembrança que dói, saudade é uma lembrança que alegra"

Mario Sergio Cortella



## RESUMO

Diante do cenário global, evidenciado na COP 27, há necessidade de ampliar os esforços para contenção do impacto climático. Neste contexto, com os incentivos adotados no Brasil ao longo dos últimos anos referentes à inserção de recursos energéticos distribuídos à rede, a geração distribuída vem ganhando espaço de destaque em estudos de fatores que influenciam na operacionalidade no sistema elétrico de potência. Diante da expansão do uso das fontes intermitentes, tais como eólica e solar, este trabalho tem como objetivo desenvolver um procedimento metodológico para analisar alimentadores de sistemas de distribuição com presença significativa de micro e minigeração. Neste contexto, através do circuito teste IEEE 123 barras se propõe modelar e simular no programa computacional OpenDSS um alimentador modelo para que se possa operar em estado de autossuficiência energética na forma de blocos de rede. A rede foi submetida a parcelas de conexão de usinas fotovoltaicas de potência nominal de 300 kW cada até que o alimentador atingisse um nível em que toda a energia elétrica consumida ao longo do dia neste alimentador fosse oriunda do mesmo. Após esta análise, foi realizado um novo conjunto de ensaios considerando o despacho oriundo de fonte de armazenamento com capacidade de 20% da potência instalada de cada usina, analisando assim um novo cenário de autossuficiência energética.

**Palavras-chave:** recursos energéticos distribuídos, geração distribuída, sistema elétrico de potência, alimentador, autossuficiência energética.

## ABSTRACT

About the global scenery, special in COP27, we need to extend our powers to content the wheater impacts. About this, with de assistance adopted by Brazil a few last years about the connection of energetic resources connected on distribution system. The distributed energy resources (REDs) is growing up your importance of studies about factors that impact in operation of the Electrical Power System. In view of the expansion of the use of intermittant sources, like eolic and solar, this article has an objective to develop a methodologic procedure to analyse feeders of distribution system with a big presence of micro and mini Generation. In this contexto, using the Test Feeder IEEE 123 Bus, this work proposes to model and simulate using OpenDSS a Model Feeder so that it can operate in a state of energy self-sufficiency in the form of network blocks. The system was submitted to connection plots of photovoltaic systems of 300 kW each until the feeder reached a level where all the electricity consumed throughout the day came from the feeder itself. After this analysis, a new set of tests was carried out considering the dispatch from a storage source with a capacity of 20% of the installed power of each system, thus analyzing a new scenery of enregy self-sufficiency.

Key-words: distributed energy resources, distributed generation, electrical power system, feeder, self-sufficiency.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução da Energia Fotovoltaica no Brasil.....	20
Figura 2 - Sistema Elétrico de Potência .....	27
Figura 3 - Diagrama Unifilar de um Alimentador. ....	29
Figura 4 - Modelo de geração com recursos energéticos distribuídos. ....	31
Figura 5- Modelo de geração distribuída.....	33
Figura 6 - Tecnologias para armazenamento de energia.....	35
Figura 7-Classificação dos sistemas de armazenamento químico de energia.....	35
Figura 8- Diagrama Unifilar do IEEE 123 barras. ....	41
Figura 9 -Curva de carga típica de um barramento de distribuição.....	42
Figura 10- Curva típica de carga (a) residencial, (b) comercial, (c) industrial e de (d) iluminação pública.....	44
Figura 11 - Fluxograma da metodologia.....	45
Figura 12 - Nível de tensão ao longo da rede. ....	47
Figura 13 - Configuração do PVSystem.....	48
Figura 14 - Curva de carga do circuito teste.....	49
Figura 15 - Perfil de consumo residencial. ....	52
Figura 16 - Perfil de consumo comercial. ....	53
Figura 17 - Perfil de consumo industrial. ....	53
Figura 18 - Função Storage OpenDSS .....	54
Figura 19 - Curva de aplicação da bateria. ....	55
Figura 20 - Consumo de energia elétrica no alimentador.....	57
Figura 21- Perfil de consumo diário de energia elétrica no IEEE 123 barras. ....	57
Figura 22 - Pontos de Conexão de Geração Distribuída .....	59
Figura 23 - Pontos de Conexão de Geração Distribuída em 20% de necessidade...60	
Figura 24 -Pontos de Conexão de Geração Distribuída em 40% de necessidade....61	
Figura 25 - Pontos de Conexão de Geração Distribuída em 60% de necessidade...62	
Figura 26 - Pontos de Conexão de Geração Distribuída em 80% de necessidade...63	
Figura 27 - Pontos de Conexão de Geração Distribuída em 100% de necessidade.64	
Figura 28 – Balanço energético com geração no alimentador no cenário com GD...66	
Figura 29 - Curvas de Energia Elétrica. ....	67
Figura 30 - Cabeçalho dos códigos.....	80
Figura 31 - Linhas do sistema .....	80

Figura 32 - Dados do Transformador e Capacitores .....	81
Figura 33 - Modo Solve .....	82
Figura 34 - Sistemas PVSystem conectados ao circuito teste. ....	82
Figura 35 - Sistema Storage conectado ao circuito teste. ....	83

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Pontos de Conexão de Geração Distribuída em 100% de necessidade...	65
Tabela 2 - Análise do circuito sem GD.....	84
Tabela 3 - Circuito com 20% de GD em 24 horas.....	85
Tabela 4 - Circuito com 40% de GD em 24 horas.....	86
Tabela 5- Circuito com 60% de GD em 24 horas.....	87
Tabela 6 - Circuito com 80% de GD em 24 horas.....	88
Tabela 7 - Circuito sem GD até as 19 horas .....	89
Tabela 8 - Circuito com 20% + armazenamento de GD até as 19 horas .....	90
Tabela 9 - Circuito com 40% + armazenamento de GD até as 19 horas .....	91
Tabela 10 - Circuito com 60% + armazenamento de GD até as 19 horas.....	92
Tabela 11 - Circuito com 80% + armazenamento de GD até as 19 horas.....	93
Tabela 12 - Circuito com 100% + armazenamento de GD até as 19 horas .....	94

**LISTA DE QUADROS**

Quadro 1- Matriz de amarração .....22

## LISTA DE ABREVIATURAS

ABGD - Associação Brasileira de Geração Distribuída  
ABAQUE - Associação Brasileira de Armazenamento e Qualidade de Energia  
ANAFAS - Análise de Falhas Simultâneas  
ANAREDE - Análise de Redes Elétricas  
ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica  
ATP-EMTP - *Alternative Transient Program - Electromagnetic Transients Program*  
BRF - Blocos Funcionais de Rede  
CAG - Controle Automático da Geração  
CIM - Comitê de Implementação da Modernização  
COP27 - 27° Conferência das Partes  
CNPE - Conselho Nacional de Política Energética  
CREA - Conselho Regional de Engenharia e Agronomia  
DSA - *Data Science Academy*  
EDC - Enel Distribuição Ceará  
EPE - Empresa de Pesquisa Energética  
ET - Estação transformadora  
GD - Geração Distribuída  
GD FV - Geração distribuída fotovoltaica  
GT - Grupo de Trabalho  
GW - Gigawatt  
kV - Quilovolts  
kW - Quilowatt  
MCP - Mercado de Curto Prazo  
MME - Ministério de Minas e Energia  
MVA - Megavoltampère  
MW - Megawatt  
NaS - Sódio-Enxofre  
ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrica  
PES - Power & Energy Society  
PERS - Programa de Energia Renovável Social  
PRODIST - Procedimentos de Distribuição  
RED - Recursos Energéticos Distribuídos  
RVD - Redução Voluntária de Energia Elétrica

SCEE - Sistema de Compensação de Energia Elétrica

SEP - Sistema Elétrico de Potência

OpenDSS - Open Distribution System Simulator

VE - Veículos Elétricos



## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	19
1.1	Procedimento de pesquisa .....	22
1.2	Objetivo .....	23
1.3	Justificativa .....	24
1.4	Organização do trabalho .....	25
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	26
2.1	Sistemas Elétricos de Potência (SEP).....	26
2.2	Recursos Energéticos Distribuídos (RED).....	29
2.2.1	Geração Distribuída.....	32
2.2.2	Armazenamento de Energia.....	34
2.2.3	Veículos Elétricos e Estrutura de Recarga.....	36
2.3	Plataformas de Modelagem e Simulação .....	37
2.4	OpenDSS .....	38
2.4.1	Circuito teste .....	39
2.4.2	Parametrização de dados na forma de curva típica .....	41
3.	PROCEDIMENTO METODOLÓGICO.....	44
3.1	Parametrização de dados.....	45
3.2	Geração.....	45
3.3	Carga.....	47
3.4	Armazenamento .....	48
3.5	Coleta e Análise de Dados .....	49
4.	MODELAGEM E SIMULAÇÃO DO ALIMENTADOR.....	50
4.1	Cargas IEEE 123 BARRAS .....	50
4.2	Armazenamento de energia .....	53
5.	APLICAÇÃO DO MODELO E ANÁLISE DE RESULTADOS.....	55
5.1	Cenário original .....	55
5.2	Cenário 2 - GD e sem armazenamento .....	57
5.3	Cenário 03 - GD e Armazenamento .....	65
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES .....	68
6.1	Sugestões para trabalhos futuros.....	69
6.2	Publicações .....	70
7.	REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO.....	71
8.	APÊNDICE .....	79

## 1 INTRODUÇÃO

Historicamente a energia, com destaque para a elétrica, tem um papel fundamental no desenvolvimento da sociedade. Portanto, a difusão das formas de energia foi vital para a evolução acelerada do mundo moderno. A indústria, por sua vez, está técnica e economicamente na essência desse mundo, é completamente dependente dos meios de extração de energia da natureza. O desenvolvimento desses mecanismos ou a falta deles determinou de forma capital o destino dos países no mundo moderno. Portanto, os que foram capazes de desenvolver e explorar tecnologias lideraram o processo de industrialização. Por outro lado, os que não investiram no setor energético se tornaram países defasados tecnologicamente e prejudicando toda a sua vida social (SIMABUKULO, 2006).

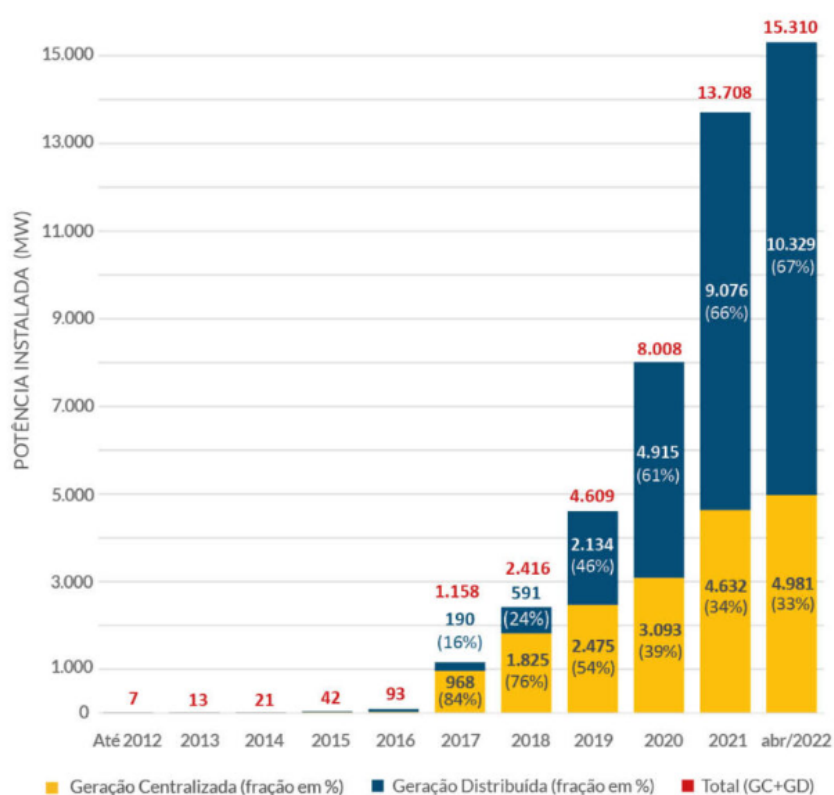
É importante salientar também que com aumento da dependência da energia na vida das pessoas, os serviços prestados necessitam ter uma qualidade maior para evitar possíveis danos a seus usuários, pensando nisso, em 4 de abril de 2019, foi instituído pelo Ministro de Estado de Minas e Energia a Portaria Nº 187 um Grupo de Trabalho (GT), para o desenvolvimento de propostas de Modernização do Setor Elétrico, viabilizando propostas em fundamentos nos pilares de governança, da transparência e da estabilidade jurídico-regulatória (BRASIL, 2019).

Entre os atos propostos, destaca-se a Portaria MME nº 403, assinada em 29 de outubro de 2019, que instituiu o Comitê de Implementação da Modernização (CIM). Este comitê foi o responsável por reportar ao Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), trimestralmente, a evolução das atividades de Modernização estabelecidas no Plano de Ação (EPE, 2019).

De outra parte, em 17 de abril de 2012, a ANEEL estabeleceu então a Resolução Normativa Nº 482 para as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Então conforme o Artigo 2º desta normativa, estabeleceu-se que microgeração distribuída é constituída por uma central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e minigeração distribuída é uma central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5 MW (ANEEL, 2012), cujas definições foram referendadas na legislação recente através da Lei 14.300/2022 (ANEEL, 2022).

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o Brasil atingiu a marca de 1 GW de potência instalada em geração distribuída no ano de 2019, aproximadamente dois anos depois, em 2021 o Brasil possui mais de 6,4 GW de potência instalada em mini e microgeração distribuída (ABGD, 2021) e os montantes parciais de 2022 indicam os números cresceram cerca de 150% em relação ao ano passado, estes dados são oriundos da ABSOLAR e demonstrados na figura 1. Os presentes dados estão alinhados aos interesses dos principais órgãos responsáveis pela expansão do sistema energético brasileiro.

Figura 1 - Evolução da Energia Fotovoltaica no Brasil.



Fonte: ABSOLAR, 2022.

A inserção de recursos energéticos distribuídos à rede, principalmente no âmbito do sistema de distribuição, vem ganhando importância, especialmente com a crise hídrica instaurada no país por ocasião de 2021. Neste período foi publicada a Portaria Normativa nº 22/GM/MME de 23 de agosto de 2021, estabelecendo as diretrizes para o mecanismo de Redução Voluntária de Energia Elétrica (RVD), sendo este um novo recurso que o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) adotou para endereçar o problema de oferta de energia elétrica no país. O racional do RVD é que certos agentes possam ofertar redução do seu consumo de energia em determinados períodos e

receber um pagamento pela demanda não utilizada ou contratada conforme contabilização a ser feito no Mercado de Curto Prazo (MCP) (MADRONA, 2021).

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o principal desafio do planejamento de expansão da capacidade de geração consiste em conseguir atender a demanda total projetada por um longo período de tempo com o menor custo possível. Porém, esta atividade torna-se complexa, já que não há um crescimento uniforme nas variáveis que influenciam neste planejamento, tais como renda per capita e crescimento populacional. Outro fator para embasamento desta ideia é que ao longo da história moderna, as atividades cotidianas, sejam elas sociais e/ou profissionais necessitam cada vez da energia elétrica para serem realizadas.

A implementação de geração distribuída vem recebendo estímulos significativos, isto, caracteriza-se pelos potenciais benefícios ao setor elétrico brasileiro, como o adiamento de investimentos em expansão dos sistemas de transmissão e distribuição, o baixo impacto ambiental, a redução no carregamento das redes, a minimização das perdas e a diversificação da matriz energética (ANEEL, 2018).

O consumidor de energia elétrica a longo prazo será caracterizado por meio da GD e do armazenamento em baterias de pequeno e médio porte, tornando-se assim um consumidor-gerador por hora tratado como prosumidor, isto significa que é capaz de atender com geração própria a quase totalidade e sua demanda por energia e comercializar excedentes no mercado (ROLIM, 2018).

Os consumidores serão capazes de reduzir substancialmente o consumo de energia proveniente da rede e, eventualmente, fornecer energia para ela, também terão capacidade de controlar e otimizar a demanda, e a geração local, através da internet e outros mecanismos de comunicação e processamento de informações, e por fim, uma resposta em tempo real acerca de sinais de preços da energia e solicitações de redução da demanda para auxiliar a segurança do sistema da concessionária (FALCÃO, 2013).

Em 18 de agosto de 2021, foi aprovado pela Câmara dos Deputados o Projeto de Lei nº 14.300, que cria o Marco Legal da Microgeração e Minigeração Distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as Leis nº 10.848 de 15 de março de 2004, e nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Alterando assim o termo de prosumidor para consumidor-gerador, designa a este, o titular de unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída, (BRASIL, 2021).

Diante do contexto de expansão de geração distribuída no Brasil, este trabalho analisará cenários de autossuficiência energética de um alimentador modelo direcionado à visão da engenharia de energia.

### 1.1 Procedimento de pesquisa

O procedimento de pesquisa está embasado em etapas desenvolvidas por um plano de ação em uma matriz de amarração desenvolvida por Mazzon em 1981, para se mapear todos os estágios necessários para a estrutura desta pesquisa com todos os pontos considerados indispensáveis. O quadro 1 apresenta a matriz de amarração.

Quadro 1- Matriz de amarração

Problema de Pesquisa	Questões Motivadoras	Objetivo Geral	Objetivos Específicos	Metodologia	Referencial Teórico	Título
Comportamento de um alimentador quando condicionado a cenários de autossuficiência energética.	Curiosidade sobre todos os fatores que envolvem o funcionamento do SEP.	Analisar o comportamento de um alimentador em cenários de autossuficiência energética a partir da inserção de recursos energéticos distribuídos.	Utilização de plataformas de simulação	Parametrização de dados (carga, geração e armazenamento)	Revisão bibliográfica para validação da pesquisa	Autossuficiência energética de um alimentador: Uma visão pela ótica da Engenharia de Energia.
	Com o avanço do uso de REDs conectados ou não à rede é possível crer em cenários de autossuficiência energética em alimentadores reais.		Pontos ideais de Conexão	Estudo do fluxo de potência		
	Ao realizar este tipo de estudo, pode-se direcionar outras pesquisas nesta área.		Potência necessária de geração para atingir o estado de autossuficiência energética.	Modelos de equipamentos elétricos.		
	Visão da EE sobre sistemas de Distribuição		Comportamento diário do alimentador através do balanço energético com o despacho de energia através de fontes de armazenamento.	Coleta e análise de dados		
	Identificação de barreiras para a não implementação do modelo (técnicas, econômicas e regulatórias).					

Fonte: Autor, 2023.

Segundo uma pesquisa realizada por Telles (2001), a matriz de amarração concede ao pesquisador um instrumento conceitual para a análise metodológica, com significativa aderência de resultados, aspecto que sugere um conceito com tendência unificadora de perspectiva sobre a abordagem da qualidade da metodologia.

Definiu-se como problema de pesquisa a análise do comportamento de um alimentador quando condicionado a cenários de autossuficiência energética, motiva-se tratar sobre a solução deste, por curiosidades sobre todos os fatores que possam envolver o funcionamento de um sistema elétrico de potência.

Com o avanço do uso de recursos energéticos distribuídos conectados ou não à rede, é possível crer em cenários de autossuficiência de alimentadores reais, podendo-se assim, desencadear oportunidades para futuras pesquisas nesta área. Neste trabalho, a autossuficiência corresponde a condição da demanda das cargas do alimentador serem equivalentes aos montantes de potência disponibilizada pelos recursos energéticos distribuídos do respectivo alimentador.

Por fim, a utilização de energia sustentável a partir de recursos renováveis para a geração de energia elétrica está em crescente expansão no mercado, colocando assim o profissional em engenharia de energia em ênfase. Portanto, em determinadas configurações de sistemas de distribuição, como os cenários propostos neste estudo, é importante destacar a visão do profissional nesta área do setor elétrico, podendo assim identificar os desafios e oportunidades para implementação do modelo, considerando aspectos técnicos, perspectivas econômicas e questões regulatórias.

A partir da identificação da problemática e objetivo estruturado, são definidos os principais tópicos para a elaboração da pesquisa, e através deste, as buscas por palavras chaves foram realizadas em plataformas especializadas que possuíam em seus acervos digitais as referências para a elaboração do estudo.

A escolha dos cenários que o alimentador modelo será submetido foi realizada por meio de configurações que permitam uma melhor extração de resultados pelo ponto de vista de um engenheiro de energia.

## **1.2 Objetivo**

Ao realizar esta pesquisa, objetiva-se analisar o comportamento de um alimentador em cenários de autossuficiência energética a partir da inserção de recursos energéticos distribuídos. Este objetivo geral é estruturado através dos seguintes objetivos específicos:

- Modelagem de recursos energéticos distribuídos;
- Elaboração de cenários para a simulação;
- Utilização de plataformas de simulação (OpenDSS);
- Uso de circuitos testes (IEEE 123 BARRAS);
- Aplicação em estudo de caso.

### **1.3 Justificativa**

Com o constante avanço da civilização e a criação e descobertas de novas tecnologias, a tendência é que a prestação de serviços fique cada vez mais otimizada, ao incorporar este tema com sistemas elétricos de potência, é oportuno considerar e estudar cenários em locais onde haja números expressivos de geração distribuída conectadas a um determinado alimentador e que este então, possua capacidade de autossuficiência energética em determinados horários do dia.

O conceito de autossuficiência energética de um alimentador segue a linha de comportamento de uma microrrede, onde ela pode desconectar-se de seu respectivo supridor e operar de forma autônoma. Porém neste trabalho, é analisada a viabilidade de operação de um alimentador em um cenário em que haja um ilhamento intencional do mesmo, assim toda a potência consumida pelas cargas conectadas a esse seja fornecida através da injeção de energia elétrica proveniente dos recursos energéticos distribuídos conectados diretamente ao respectivo alimentador.

#### **1.3.1 Aplicação na Engenharia de Energia**

Uma das principais questões motivadoras para a realização desta pesquisa, é a ampla aplicabilidade do profissional em engenharia de energia nestas análises de operação de um sistema elétrico de potência. Em um mundo cada vez mais populoso e os recursos provenientes da natureza cada vez mais escassos, a otimização de recursos para uma melhor logística dos processos é fundamental, ao analisarmos este fundamento com a energia elétrica, a otimização deste serviço fornecida a todos os tipos de consumidores, está sendo realizada através dos REDs. Diante deste fato, se evidencia a importância do engenheiro de energia no mercado de trabalho deste ramo, pois esse perfil, juntamente com engenheiro eletricista, são os profissionais que possuem autorização pelo Conselho Regional de Engenharia e Agronomia (CREA) para a assinatura de projetos relacionados a esta área. Estas atividades são normatizadas pela Resolução CONFEA N° 1073 de 19 de abril de 2016 que

regulamenta a atribuição de títulos, atividades, competências e campos de atuação profissionais aos profissionais registrados no Sistema Confea/Crea para efeito de fiscalização do exercício profissional no âmbito da Engenharia e da Agronomia.

#### **1.4 Organização do trabalho**

A seguir serão apresentadas as etapas desenvolvidas durante o processo de pesquisa e elaboração deste trabalho. Salienta-se que esta pesquisa está dividida em duas partes, onde a primeira abrange o referencial bibliográfico e etapas da metodologia desenvolvida. Em um segundo momento ocorre os processos de modelagem e simulação da configuração proposta, a aplicação do modelo e análise dos resultados obtidos que subsidiam as considerações finais. Baseando-se nesta ideia, este trabalho está estruturado da seguinte forma:

No presente capítulo trata-se das normativas a respeito da geração distribuída no Brasil, e o elevado crescimento desta em termos de potência elétrica instalada, principalmente nos últimos dois anos. Aborda também as estratégias relativas à pesquisa de revisão bibliográfica e a justificativa para a realização dos estudos visando a contextualização entre sistemas elétricos de potência e engenharia de energia.

O segundo capítulo do trabalho consiste em uma revisão bibliográfica sobre os temas que envolvem um sistema elétrico de potência, direcionando à sistemas de distribuição e aos itens que compõem o termo recursos energéticos distribuídos e que são atingidos durante o processo de realização da pesquisa, como microgeração e minigeração distribuída, armazenamento de energia e mobilidade elétrica.

O capítulo 3 é referente aos procedimentos metodológicos tidos como base para estruturar a elaboração da pesquisa e embasar a coleta de dados a fim de verificar a viabilidade da autossuficiência energética em um alimentador de distribuição de energia elétrica.

O quarto capítulo é reservado para o processo de modelagem das fontes de geração distribuída e da alocação delas em pontos ao longo do alimentador. O quinto capítulo é reservado para a demonstração da aplicação do Modelo e Análise de Resultados, será realizada análise comparativa dos dados obtidos para os cenários propostos com objetivo de validar a proposta do objeto de pesquisa.

Durante o capítulo 6 Serão apresentadas reflexões a respeito dos resultados obtidos, visando a validação da proposta apresentada ao longo da pesquisa, pontos passíveis de questionamentos, oportunidades de aprimoramentos e resultados



concretos. Demonstra também as publicações resultantes de pré-análises realizadas durante o processo e possíveis trabalhos que consigam dar continuidade na pesquisa desempenhada.

O capítulo 7 apresenta todas as referências que contribuíram para a realização desta pesquisa, auxiliando em um melhor desenvolvimento e na conquista de um objetivo mais aprofundado.

O fim é reservado para os apêndices, onde estão demonstrados os códigos utilizados no OpenDSS para a simulação dos cenários propostos para funcionamento do alimentador e também para os resultados obtidos durante o processo que auxiliaram nas conclusões obtidas.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, serão abordados em uma revisão bibliográfica os principais tópicos que englobam a autossuficiência energética de um alimentador de distribuição de energia elétrica com o intuito de validar as metodologias utilizadas durante as diversas etapas desta pesquisa.

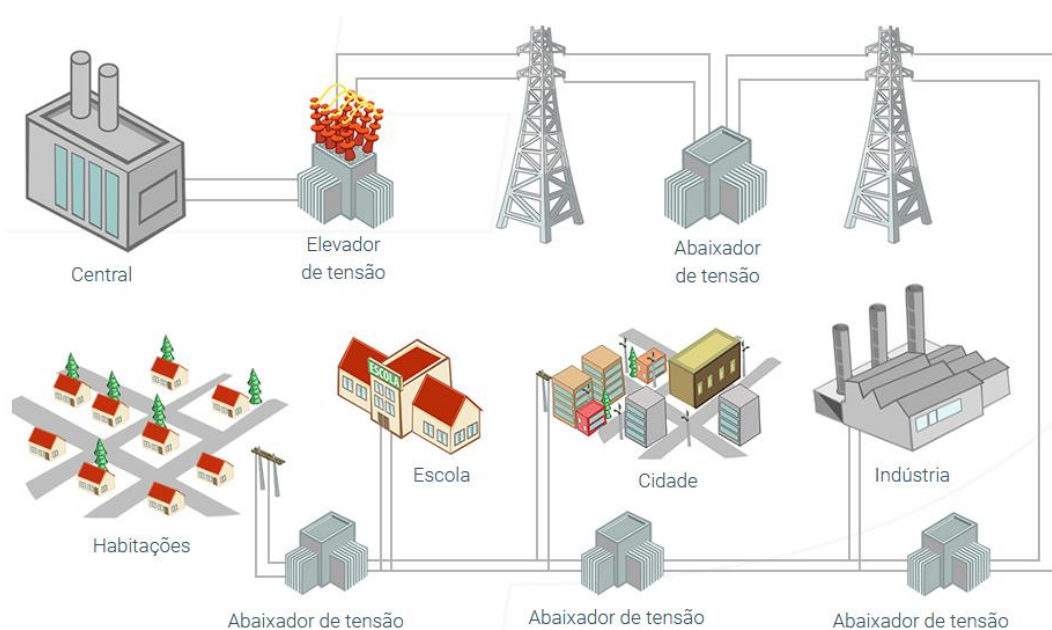
A seção de sistemas elétricos de potência contém um breve conteúdo generalizado em uma segunda parte voltada para o setor de distribuição de energia elétrica, que é o enfoque desta pesquisa. Cabe destacar que dentro do sistema de distribuição, existem outras variáveis que devem ser consideradas em estudos nesta área, assim esta pesquisa voltasse ao entorno de recursos energéticos distribuídos, detalhando os principais aspectos destes, como os mesmos podem impactar um alimentador e também sobre pesquisas já realizadas com estes tópicos.

### 2.1 Sistemas Elétricos de Potência (SEP)

Segundo (Kagan, 2005), os sistemas elétricos de potência têm a função principal de fornecer energia elétrica aos usuários, grandes ou pequenos, com a qualidade adequada, no instante em que for solicitada. Isto é, o sistema tem as funções de produtor, transformando a energia de alguma natureza, por exemplo, hidráulica, mecânica, térmica ou outra, em energia elétrica, e de distribuidor, fornecendo aos consumidores a quantidade de energia demandada, instante a instante. Em não sendo viável seu armazenamento em grande escala, o sistema deve contar com capacidade de produção e transporte que atenda ao suprimento, num dado intervalo de tempo, da energia consumida e à máxima solicitação instantânea de potência ativa. Deve-se, pois, dispor de sistemas de controle da produção de modo que a cada instante seja produzida a energia necessária para atender à demanda das cargas e às perdas na produção e no transporte.

Um sistema elétrico de potência convencional é constituído por usinas geradoras, linhas de alta tensão de transmissão de energia e sistemas de distribuição (Zanetta Júnior, 2005, pg. 3). Conforme demonstrado na figura 2, o objetivo desta energia oriunda das grandes usinas é o atendimento de cargas em pequenos e grandes centros, onde estão instaladas cargas residências, comerciais e industriais.

Figura 2 - Sistema Elétrico de Potência



Fonte: ANEEL, 2021.

### 2.1.1 Sistemas de Distribuição

A energia elétrica, ao chegar aos grandes centros de consumo, como as cidades e parques industriais, percorre regiões densamente habitadas, com circulação permanente de pessoas, cuja segurança exige a redução do nível de tensão a patamares inferiores, sendo muito comum no Brasil a tensão de 13,8 kV. Dessa tarefa se encarregam as empresas distribuidoras, que fornecem energia elétrica aos consumidores finais, geralmente classificados em grupos relacionados a classe de consumo, como residenciais, comerciais e industriais (Zanetta Júnior, 2005, pg. 3).

Os sistemas de distribuição são comumente divididos em:

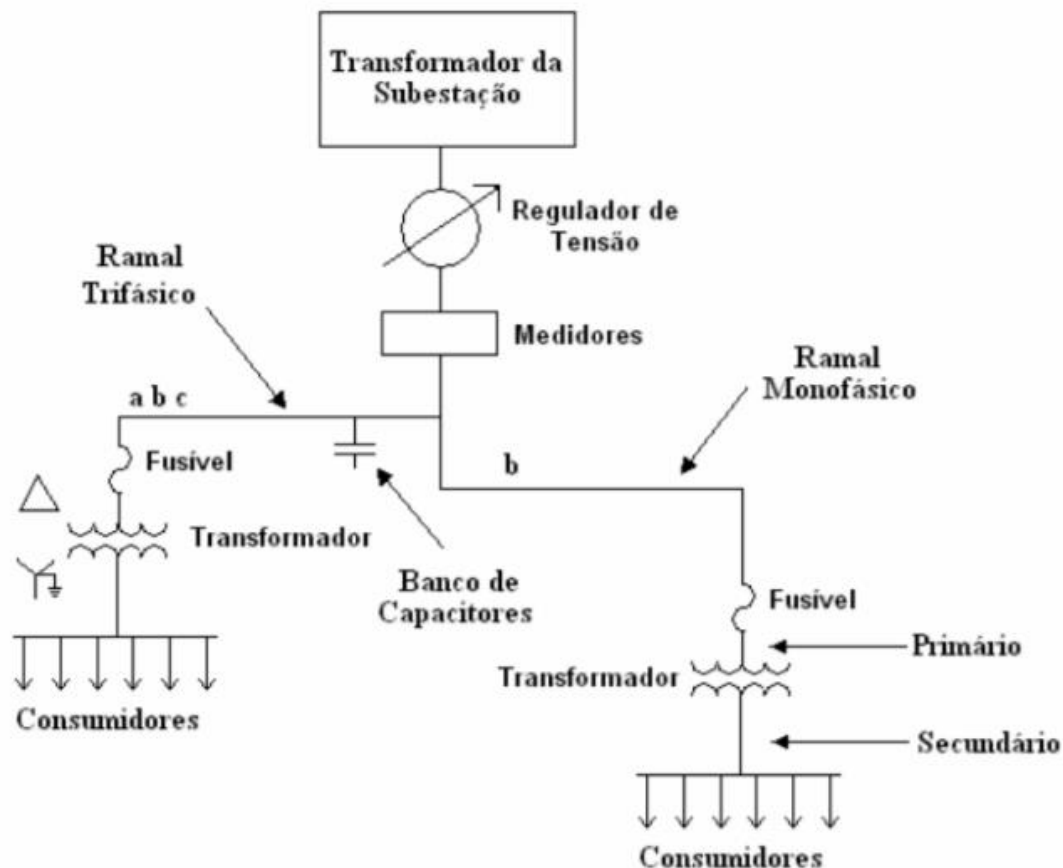
- Sistemas de Distribuição Primária
- Sistemas de Distribuição Secundária

Os sistemas de distribuição primária, ou de média tensão, emergem das subestações de distribuição e operam, no caso da rede aérea, radialmente, com possibilidade de transferência de blocos de carga entre circuitos para o atendimento da operação em condições de contingência, como em situações de manutenção corretiva ou preventiva.

Os troncos dos alimentadores empregam, usualmente, condutores de seção 336,4 MCM permitindo, na tensão de 13,8 kV, o transporte de potência máxima de 12 MVA, que, face à necessidade de transferência de blocos de carga entre alimentadores, fica limitada a cerca de 8 MVA. Estas redes atendem aos consumidores primários conectados a Média Tensão e aos transformadores de distribuição, que são estações

transformadoras (ETs) que suprem a rede secundária de baixa tensão (KAGAN, 2005, pg 13). O método usual de ilustrar um alimentador é apresentando o seu diagrama unifilar conforme é apresentado na figura 3.

Figura 3 - Diagrama Unifilar de um Alimentador.



Fonte: KERSTING, 2001.

Dos transformadores de distribuição, deriva-se a rede secundária, predominantemente 220/127 V ou 380/220 V, que pode operar em malha ou radial e que supre os consumidores de baixa tensão, consumidores residenciais, pequenos comércios ou indústrias.

Em um estudo, ALTRAN (2010), desenvolveu uma metodologia para previsão de carga, chamada previsão multimodal, que se entende como um sistema inteligente que considera vários pontos da rede elétrica durante a realização da previsão. Este sistema conta com o uso de uma rede neural artificial composta por vários módulos do tipo perceptron multicamadas, cujo treinamento é baseado no algoritmo de retropropagação. É algo complexo a previsibilidade do sistema em relação a previsão

de carga conectada em um alimentador, pois a maioria dos estudos realizados pode ser efetivado caso exista uma boa estimativa da carga a ser atendida.

Segundo o Módulo 1 do PRODIST, alimentador é uma rede elétrica destinada a transportar energia elétrica em média tensão (ANEEL, 2018).

De acordo com Alvarenga (2004), um alimentador é subdividido em trechos, estes chamam-se ramos, ficando entre duas barras. Considera-se barra todos os pontos existentes em uma rede primária de distribuição onde há presença de subestação, transformador, regulador de tensão ou ramificação.

Augusto (2017), realizou um estudo com auxílio do OpenDSS a fim de verificar a capacidade de inserção de geração distribuída (*hosting capacity*) de um alimentador real uma distribuidora de energia elétrica. A avaliação do impacto causado foi realizada através do fluxo de potência obtido através de cenários idealizados. Os indicadores utilizados, foram: perdas no sistema, flutuações de tensão como sobretensão e afundamento de tensão, desbalanço de tensão, entre outros.

## **2.2 Recursos Energéticos Distribuídos (RED)**

Recursos Energéticos Distribuídos são definidos como tecnologias de geração e/ou armazenamento de energia elétrica, localizados dentro dos limites da área de uma determinada concessionária de distribuição, normalmente junto a unidades consumidoras, atrás do medidor (*behind-the-meter*). Adicionalmente, com frequência essa definição vem se ampliando para abarcar ainda eficiência energética, resposta de demanda e gerenciamento pelo lado da demanda (EPE, 2018, pg. 2). Ainda segundo a EPE, recursos energéticos distribuídos contemplam:

- Geração distribuída (GD);
- Armazenamento de energia;
- Veículos elétricos (VE) e estrutura de recarga (mobilidade elétrica);
- Eficiência energética;
- Gerenciamento pelo lado da demanda.

Um dos principais motivos para a difusão dos REDs (figura 4) é o seu potencial de oferecer e impor inovações tecnológicas, tanto no lado da demanda, quanto no lado da oferta, servindo de complemento ao sistema de geração de energia centralizada ou como substituto: entende-se que estes recursos podem reduzir a dependência do uso de combustíveis fósseis. E, ao mesmo tempo, vai contribuir de forma decisiva para a

implementação de modernos serviços de distribuição de energia elétrica, tanto em áreas urbanas como em áreas remotas e rurais.

Figura 4 - Modelo de geração com recursos energéticos distribuídos.



Fonte: INRIUFMS, 2020.

A figura 4 está diretamente relacionada ao termo *smart grids*, onde os sistemas de distribuição serão conectados a modernos equipamentos de informação e comunicação, chamados de informação e comunicação inteligente (*information and communication technologies*). As chamadas redes inteligentes são capazes de controlar as redes ativas de forma a facilitar a inserção de geração distribuída no sistema.

Segundo (ENA, 2021.), uma rede totalmente inteligente do futuro permitirá que os aparelhos domésticos se comuniquem com o medidor inteligente e possibilitará que as redes garantam o uso eficiente da infraestrutura, resposta à demanda e gerenciamento de energia. Tudo isso é essencial para aproveitar ao máximo as energias renováveis intermitentes e manter as luzes acesas no futuro de energia *low-carbon* acessíveis.

As novas possibilidades de negócios que surgem através da transição energética podem ser retratadas, por exemplo, na geração distribuída, no

armazenamento de energia, no gerenciamento da demanda e na mobilidade elétrica. Como a difusão destes recursos nos próximos anos, o Sistema Elétrico Brasileiro (SEB) está convergindo para uma transformação sem precedentes com a ruptura de paradigmas (GOUVÊA, 2019).

Segundo (IEMA, 2016), a infraestrutura de transmissão e distribuição revela-se um componente essencial para garantia da flexibilidade no sistema, na medida em que viabiliza o gerenciamento entre fontes de geração localizadas em diferentes regiões do país, e, com isso, permite ao operador planejar e operar de forma mais custo-efetiva e com maior folga operacional.

Pode-se dizer que a introdução de REDs nos sistemas de distribuição de energia produzem impactos técnicos e econômicos, que precisam ser considerados nos processos de operação e planejamento desses sistemas. A inserção desses recursos na rede elétrica exige tecnologias sofisticadas diferentes das disponíveis atualmente no sistema. Para níveis moderados de recursos energéticos distribuídos, como o existente no Brasil, o gerenciamento da rede ainda pode ser realizado pela combinação de ações manuais e semiautomáticas; mas quando os níveis de penetração ultrapassam 20% ou 30% da demanda prevista torna-se improvável o monitoramento e controle sem as tecnologias digitais, já que essas são complementares e sinérgicas aos RED (IEA, 2014).

A geração distribuída é caracterizada por possuir uma característica modular, ou seja, podem ser instaladas em unidades extremamente pequenas que se adequem ao consumo local, estes aspectos os tornam atrativos e impulsionam o desenvolvimento, possibilitando assim a redução de custos e perdas decorrentes da transmissão de energia elétrica. Mas, há desafios atrelados à adequação dos sistemas de distribuição (IEMA, 2016).

Em GIMENES (2020) foi realizada uma pesquisa com o objetivo de analisar o impacto na qualidade de energia elétrica de sistemas distribuídos considerando a variação de carga do sistema, a variação de penetração e alocação de geração distribuída e baterias representadas pela saída dos inversores. Para isso, foi utilizado o sistema IEEE 34 barras adaptado ao sistema elétrico brasileiro e considerando ramais de baixa tensão. Sendo possível descobrir que para cada distúrbio eletromagnético existe uma alocação que resulta em menores inserções desse distúrbio, não sendo possível ter uma alocação, dentre as analisadas, que ajudem a mitigar todos os distúrbios do sistema.

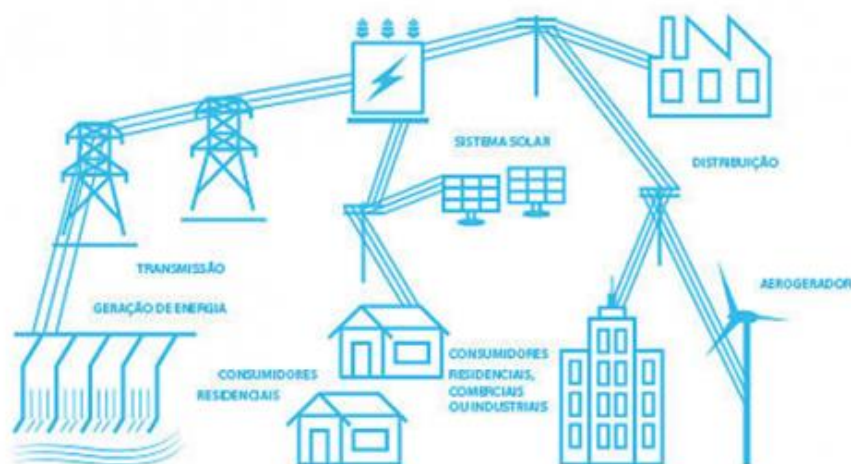
Baseando-se na ideia de controle de consumo elétrico inteligente, em DA CRUZ (2017), projetou através de aplicativo, o mensuramento do consumo de energia residencial, obtendo os dados através de tempo real, referente a quantidade de consumo de energia e seu custo financeiro, possibilitando ao usuário compreender consumos e gastos obtidos, auxiliando na tomada de decisão e poder controlar diretamente o uso destes parâmetros.

### 2.2.1 Geração Distribuída

De acordo com o Art. 14 do Decreto Nº 5.163 de 30 de julho de 2004, geração distribuída é a produção de energia elétrica proveniente de empreendimentos de agentes concessionários, permissionários ou autorizados, incluindo aqueles tratados pelo Art. 8º da Lei Nº 9.074 de 1995, conectados diretamente ao sistema elétrico de distribuição do comprador, exceto aquela proveniente de empreendimento (BRASIL, 2004).

A GD pode ser proveniente de várias fontes alternativas. Destas, a energia solar pode ser citada com uma das mais limpas e de fácil instalação, além disto, diminui a dependência do mercado de petróleo, reduz a emissão de gases poluentes na atmosfera (HOSENUZZAMAN et al; 2014).

Figura 5- Modelo de geração distribuída.



Fonte: ANEEL, 2018.



Em WAENGA (2016) é apresentado um estudo sobre os efeitos e impactos que a geração distribuída fotovoltaica (GD FV) pode causar na rede distribuição de energia elétrica, com ênfase sobre os aspectos envolvendo a proteção da rede distribuição numa condição em que a GD represente uma parcela significativa da energia fornecida à rede.

A PL 5829/2019 além de permitir o Marco Legal da Geração Distribuída, representa o primeiro passo para um correto desenvolvimento sustentável e para a aceleração da geração própria renovável, promovendo a democratização do uso da energia solar, eólica, de mini-hidrelétricas, biogás e cogeração no país, viabilizando energia limpa e mais barata para todos os brasileiros, garantindo um futuro mais sustentável para as próximas gerações (CHIROLLO, 2021).

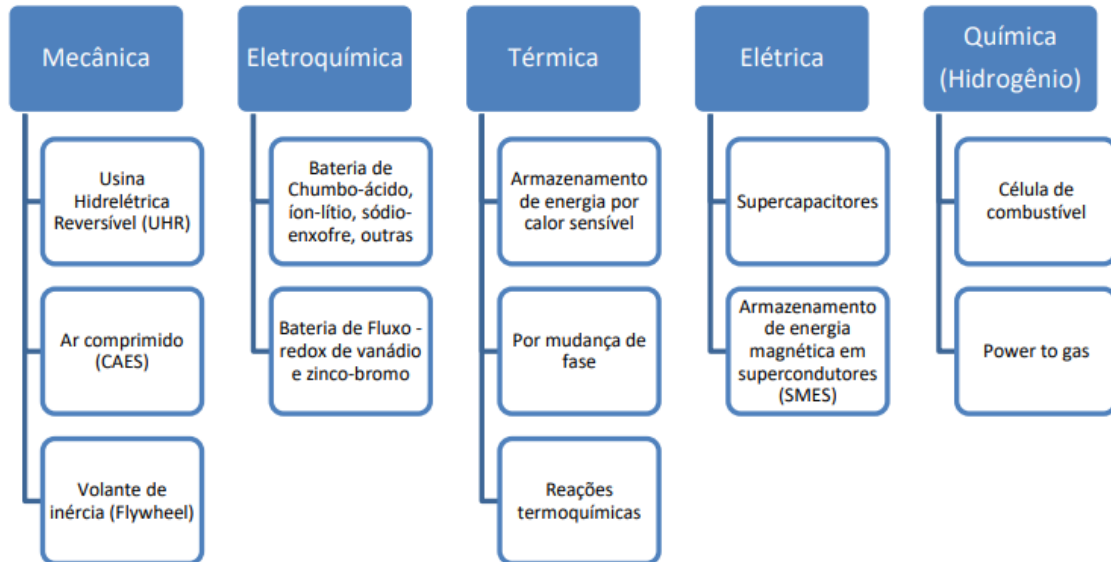
Em 6 de janeiro de 2022, através da Lei N° 14.300, instituiu-se o marco legal da microgeração e minigeração distribuída no Brasil, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS), alterando assim as Leis n° 10.848, de 15 de março de 2004 e n°9.427, de 26 de dezembro de 1996. Assim, denomina-se microrrede a integração de vários recursos de geração distribuída, armazenamento de energia elétrica e cargas em sistema de distribuição secundário capaz de operar conectado a uma rede principal de distribuição de energia elétrica e também de forma isolada, controlando os parâmetros elétricos e provendo condições para ações de recomposição e de auto restabelecimento. Esta mesma lei, estabelece que para fontes despacháveis, especificamente para fontes de geração fotovoltaicas, limitadas, nesse caso, a 3MW (três megawatts) de potência instalada, com baterias cujos montantes de energia despachada aos consumidores finais apresentam capacidade de modulação de geração por meio do armazenamento de energia em baterias, em quantidade de, pelo menos, 20% (vinte por cento) da capacidade de geração mensal da central geradora que podem ser despachados por meio de um controlador local ou remoto (BRASIL, 2022).

### **2.2.2 Armazenamento de Energia**

Há diversas formas de armazenamento de energia, cada uma com suas características particulares que apresentam vantagens e desvantagens, conforme o fluxograma disposto na figura 6. Nesta pesquisa serão abordadas apenas as tecnologias eletroquímicas, que possuem uma melhor empregabilidade ao

armazenamento de energia elétrica oriundos de geração distribuída e despachados à rede.

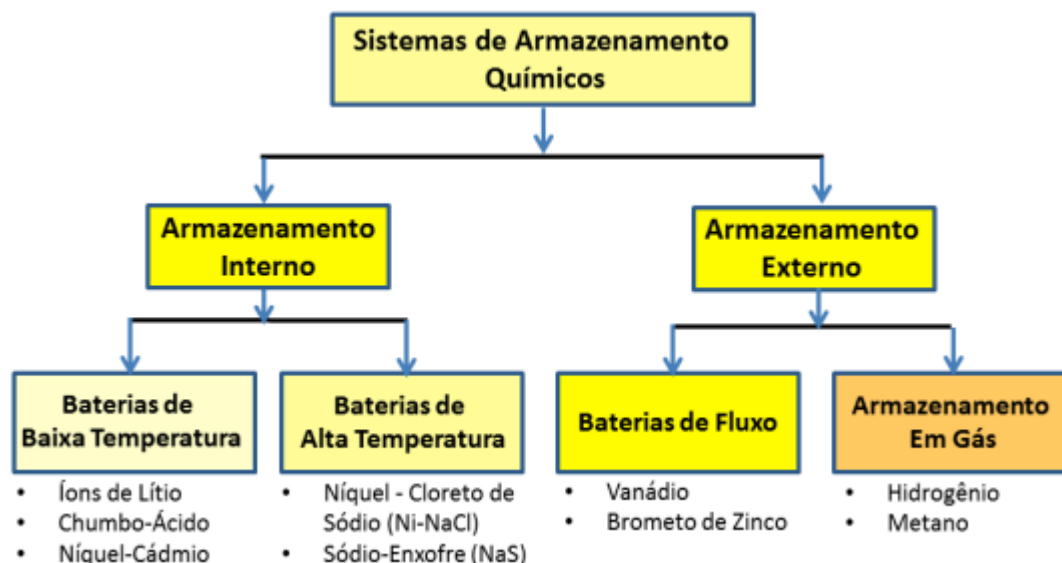
Figura 6 - Tecnologias para armazenamento de energia.



Fonte: EPE, 2019.

Os sistemas de armazenamento químico de energia podem ser classificados conforme figura 7.

Figura 7-Classificação dos sistemas de armazenamento químico de energia.



Fonte: Abaque, 2016.

Neste tópico será abordado apenas sobre Sistema de Armazenamento Interno para baterias de alta temperatura do tipo Sódio-Enxofre (NaS), pois tem sua aplicação na operação da rede elétrica de distribuição.

As baterias de Sódio-Enxofre (NaS) tem um eletrólito em estado sólido, no lugar de fluido, como ocorre em outras baterias. Estas requerem temperaturas elevadas para alcançar a condutividade suficiente (baixa resistência interna) para a transferência de massa no eletrólito na condição fluida. Suas aplicações encontram-se na operação da rede elétrica de distribuição, integração de geração intermitente (eólica e solar) e serviços ancilares. A tecnologia Sódio-Enxofre tem potencial para aplicação em serviços ancilares devido a seu longo tempo de descarga (até 6 horas) e baixa autodescarga. São capazes de respostas rápidas, adequadas às necessidades do sistema elétrico, como a mitigação de eventos de qualidade de energia e serviços de CAG, respondendo às variações de frequência e potência do sistema exatamente como os geradores do CAG (ABAQUE, 2017, pg 14).

SOUZA et. al. (2018) apresentou uma contextualização do atual cenário brasileiro de geração e as principais tecnologias de armazenamento, destacando os fatores que entram e estimulam a geração distribuída com armazenamento. Ainda apresentou a infraestrutura presente no Laboratório de Sistemas Fotovoltaicos (LSF), para análise operacional da gestão da geração e da demanda de energia da geração distribuída com armazenamento conectado à rede.

O Brasil, através dos trabalhos realizados pelo Ministério de Minas e Energia (MME), realiza políticas governamentais para uso e expansão de recursos energéticos a longos

prazos no país. O Plano Nacional de Energia (PNE 2050) possui diretrizes com direto impacto na economia e no dia a dia das empresas e de indústrias que busquem novas formas de energia para manter suas operações neste prazo (ESFERABLOG, 2021).

### **2.2.3 Veículos Elétricos e Estrutura de Recarga**

O veículo elétrico pode ser definido como aquele cuja potência de propulsão é proporcionada, de forma total ou parcial, por meio do uso de energia elétrica. Dentre os diferentes tipos de VEs existentes, destacam-se os veículos elétricos a bateria (VEB) e os veículos elétricos híbridos conectáveis à rede (tipo plug-in, VEHP) pois utilizam a rede de energia elétrica como principal fonte de energia de reabastecimento (Rodrigues, 2017).

Para o sistema elétrico, a carga associada à soma dos VEs é algo que deve ser levado em consideração. Este contexto se torna ainda mais complexo quando se considera a mobilidade desses veículos. A natureza estocástica e temporal do processo de carga/descarga de veículos elétricos os torna um objeto de estudo particular se comparado às cargas tradicionais presentes no sistema (Wang, et. al; 2012).

SIMON (2013), avaliou os impactos da recarga de veículos elétricos em redes de distribuição de energia propondo uma metodologia baseada em um fluxo de potência estocástico, utilizando padrões socioeconômicos e de mobilidade da região estudada, para testar o risco de transgressão das condições de operação do sistema elétrico em horários de ponta.

No estudo de LEMES (2018), é analisada a viabilidade de implantação de posto de recarga de veículos elétricos com abastecimento fotovoltaico em três modos, o primeiro com abastecimento fotovoltaico autônomo, o segundo com abastecimento FV conectado à rede e o último com conexão somente na rede elétrica.

BATISTA (2017), apresentou um modelo matemático computacional para um sistema de distribuição de energia elétrica implementado no Software Matlab. A modelagem consistiu na aplicação do Método das Somas de Potência (MSP) a um sistema teste denominado IEEE Feeder 37 usado como estudo de caso.

## **2.3 Plataformas de Modelagem e Simulação**

A simulação trata-se de um ferramental disponibilizado pela área de pesquisa operacional que permite a geração de cenários, a partir dos quais pode-se: orientar o processo de tomada de decisão, proceder análises e avaliações de sistemas e propor

soluções para a melhoria de performance. Sendo que, estes procedimentos podem ter por conotação parâmetros técnicos e, ou, econômicos (SILVA, 2005).

Na pesquisa de BARTUCCI (2020), constata-se que a modelagem é a representação de um sistema com uma altíssima quantidade de informações (coletadas em um momento anterior), ou seja, permitindo que os dados sejam tratados em um computador. Neste sentido, é plausível a criação de cenários, a fim de verificar os parâmetros que serão mais afetados na implementação do modelo.

O estudo sobre o fluxo de potência é uma das ferramentas mais comuns nas áreas de planejamento e operação de sistemas elétricos. Os estudos de fluxo de potência são utilizados nas fases de projeto, planejamento da expansão, planejamento da operação e operação propriamente dita dos sistemas, podendo ser utilizados apenas para análise da rede ou integrar estudos mais complexos, como os de otimização, estabilidade, controle e supervisão (BARBOSA, 1995, pg 1).

Em um estudo (MANSO, 2020) avaliou os impactos causado pelas operações de parques eólicos em fluxos de carga probabilísticos nas grandezas do sistema elétrico de potência, foram avaliados os fluxos de potência nas linhas, a reserva de capacidade de geração e o perfil de tensão da rede. Para a simulação foi utilizado o método de Newton-Raphson associado a simulação de Monte Carlo não sequencial, onde os dados de carga adotadas são os valores de pico e a incerteza em torno destes valores são representadas pela função de Distribuição de Probabilidade Normal.

Para simulações do sistema elétrico de potência, pode-se destacar diversos *softwares* que podem contribuir com pesquisas relacionadas às estas áreas, tais como: Matlab/Simulink, ANAREDE, ANAFAS, PowerWorld, ATP-EMTP e OpenDSS.

O Simulink é uma ferramenta do Matlab para modelagem, simulação e análise de sistemas dinâmicos. Sua interface primária é uma ferramenta de diagramação gráfica por blocos e bibliotecas customizáveis de blocos (TEWARI, 2002).

ANAREDE (Análise de Redes Elétricas) é um software para análise de Sistemas Elétricos de Potência em regime permanente, este reúne programas de fluxo de potência, equivalente de redes, análise de contingências, análise de sensibilidade de tensão e de fluxo e análise de segurança de tensão (ELETROBRAS, 2018).

O programa computacional Análise de Faltas Simultâneas (ANAFAS) é utilizado para cálculo de curtos-circuitos na rede elétrica. Permite a execução automática de grande número de faltas, inclusive deslizantes, resultados orientados a pontos de falta ou de monitoração, estudo automático de superação de disjuntores, obtenção de

equivalentes e cálculo automático da evolução dos níveis de curto. É desenvolvido sob a linha de pesquisa “Planejamento, Operação e Análise de Redes Elétricas”, (ELETROBRAS, 2018).

O ATP-EMTP é um programa que desenvolve um sistema universal para a simulação de fenômenos transitórios de natureza eletromagnética e eletromecânica. Com ele, é possível realizar a simulação de redes complexas e sistemas de controle de estrutura arbitrária. O ATP possui amplos recursos de modelagem e recursos adicionais importantes, e cálculo de transientes (OLIVEIRA, 2013).

O PowerWorld Simulator é um software de simulação de sistema de energia interativo projetado para simular a operação do sistema de energia de alta tensão em um intervalo de tempo que varia de acordo com a necessidade do projeto. O software contém um pacote de análise de fluxo de potência altamente eficaz, capaz de solucionar com eficiência sistemas de até 250.000 barras (PowerWorld Corporation, 2021).

O uso do OpenDSS vem sendo incentivado pela ANEEL, em sua nota técnica Nº 057/2014-SRD/ANEEL, a apuração das perdas nos segmentos de média e baixa tensão (incluindo transformadores de distribuição e ramais de ligação) por meio de execução de fluxo de carga trifásico, com o uso o OpenDSS em substituição ao seu antigo modelo simplificado (SILVA, 2017).

## 2.4 OpenDSS

O OpenDSS é uma ferramenta computacional de código-aberto livre disponível e utilizada para a simulação de sistemas de energia com diversas aplicações em estudos sobre sistemas de distribuição. O *software* atualmente possui modelos de geração fotovoltaica e unidades de armazenamento, estes recursos, entre outros disponibilizados, foram sendo adicionados conforme o programa evoluiu buscando atender as necessidades específicas de quem o usa.

Para ilustrar a relevância do OpenDSS para o presente trabalho, a seguir são destacadas referências relacionadas aos objetivos estabelecidos no capítulo anterior.

O estudo de ANDRADE (2021), utilizou o *software* OpenDSS para modelagem de uma rede de distribuição, sendo capaz de simular o comportamento do circuito elétrico e os impactos na qualidade de energia elétrica de acordo com as diferentes topologias de transformadores, cargas e unidades de geração distribuída em que o sistema pode ser submetido.

O trabalho de CUNHA (2010), analisou um sistema de distribuição de energia elétrica na presença de bancos de capacitores e geração distribuída. O sistema apresentava características de um sistema real de distribuição juntamente com geração de energia elétrica. Fazendo análises com intuito de verificar as tensões, perdas e fluxo de potência na subestação principal para o sistema operando em três cenários, operação normal, operação na ausência dos bancos de capacitores e a operação na ausência de geração distribuída.

TAVARES (2018) estudou os impactos e interação da geração distribuída fotovoltaica (PV) no sistema de distribuição de energia em média tensão, através da modelagem, usando o programa OpenDSS, do alimentador real 0112 da subestação Água Fria, localizado em Fortaleza-CA e de posse da Enel Distribuição Ceará (EDC).

TORQUATO (2020), propôs um método de simulação estocástico série temporal (baseado no método de Monte Carlo) capaz de englobar as características elétricas e comportamentais de todos os tipos de eletropostos existentes, o OpenDSS foi empregado para o cálculo do fluxo de potência série temporal em período de 24 horas utilizando o método de Newton-Raphson.

### **2.4.1 Circuito teste**

A Power & Energy Society (PES) oferece o maior fórum do mundo para compartilhar os últimos desenvolvimentos tecnológicos na indústria de energia elétrica, para desenvolver padrões que orientam o desenvolvimento de equipamentos e sistemas para educar membros da indústria e do público em geral (IEEE-PES, 2021).

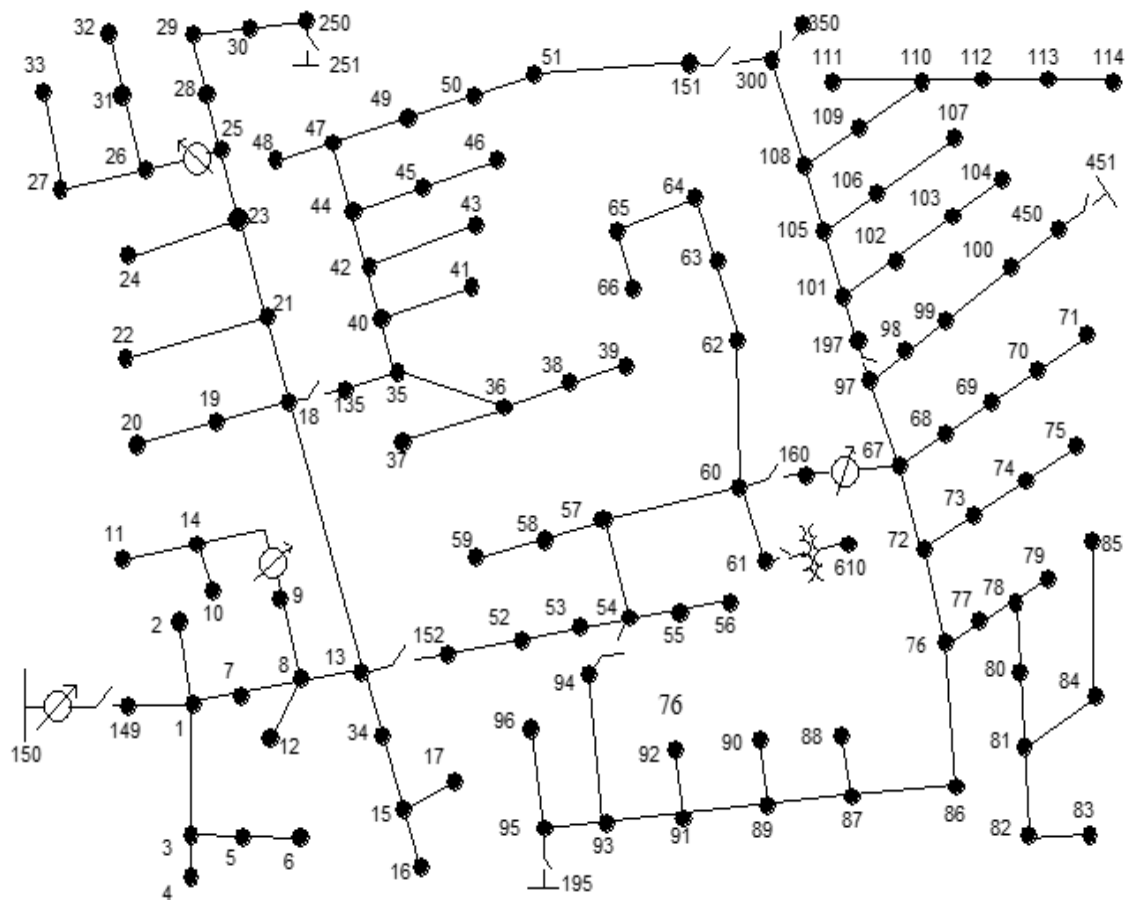
Em 1992 foram desenvolvidos casos testes para alimentadores, que foram aprovados pelo *Data Science Academy* (DSA) durante o *PES Summer Meeting* no ano de 2000. Eles foram projetados para avaliar e comparar algoritmos na solução de sistemas radiais trifásicos desequilibrados. Estes circuitos representam modelos de ordem reduzida de um circuito de distribuição real (SCHNEIDER, 2017).

Os circuitos testes desenvolvidos em 1992 foram:

- Circuito-teste 13 barras;
- Circuito-teste 34 barras;
- Circuito-teste 37 barras;
- Circuito-teste 123 barras;

Entre as inúmeras aplicações de circuitos testes destaco a seguir a importância da utilização do circuito-teste IEEE 123 barras nesta pesquisa, este sistema é maior e mais complexo do que os outros mencionados acima, possui linhas monofásicas, bifásicas e trifásicas, quatro banco de capacitores, quatro reguladores de tensão e um transformador. O circuito do alimentador está apresentando na figura 8.

Figura 8- Diagrama Unifilar do IEEE 123 barras.



Fonte: IEEE, 2021.

GARCIA (2018), explorou o circuito teste 123 barras para análise de subdivisão do sistema BFR (blocos funcionais de rede), para tanto, em sua tese, propôs a adaptação dos métodos existentes de ordenação de rede para topologias específicas, objetivando pela ordenação, estabelecer a sequência de trechos no sentido do fluxo a partir da barra da subestação.

RIANI (2008) utilizou o circuito teste 13 barras para constatar a eficiência de um modelo matemático para representar transformadores em estudos de fluxo de potência e curto-circuito utilizando coordenadas. O modelo apresenta uma robustez numérica, além de permitir a representação de transformadores de três enrolamentos, a utilização



de impedâncias de aterramento em ambos os lados do transformador e a representação do condutor neutro.

Em uma pesquisa CARNEIRO (2019), utilizou o circuito teste IEEE 123 barras para desenvolver um tutorial de simulação com o software OpenDSS a fim de facilitar a compreensão de estudante e profissionais, com ênfase no estudo das perdas técnicas. A utilização destas ferramentas como o OpenDSS promove melhorias, principalmente com a sua capacidade de lidar com redes que apresentam unidades de geração distribuída e com o de fluxo de potência ao longo de um período determinado.

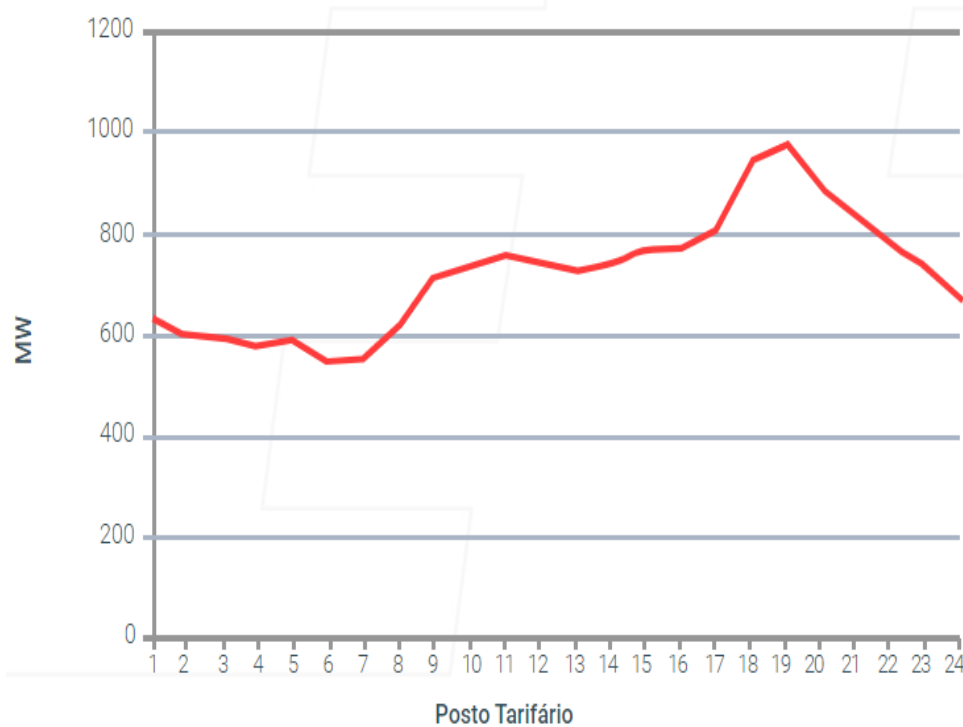
#### **2.4.2 Parametrização de dados na forma de curva típica**

Dentre os vários parâmetros de um SEP a carga dos consumidores é a de determinação mais difícil. Considerando que o valor da carga varia instantaneamente e que existem milhões de consumidores, cada um absorvendo energia de acordo com a sua necessidade individual, a determinação das exigências futuras é um problema estatístico (ALMEIDA, 2014).

O nível de carga que um alimentador opera durante o dia não é constante, ele varia de acordo com a necessidade dos clientes que nele estão conectados, por isso deve-se realizar estudos para a condição de demanda máxima deste alimentador, pois ela que irá impor as condições mais severas de queda de tensão e de aquecimento (KAGAN, 2005).

Conforme figura 9, o consumidor residencial típico, utiliza energia em maior quantidade entre 17 e 22 horas. Dentro desse intervalo, o consumo é ainda maior das 19 às 21 horas, por força da carga de iluminação e a utilização do chuveiro elétrico, que necessitam de uma alta potência para aquecer a água.

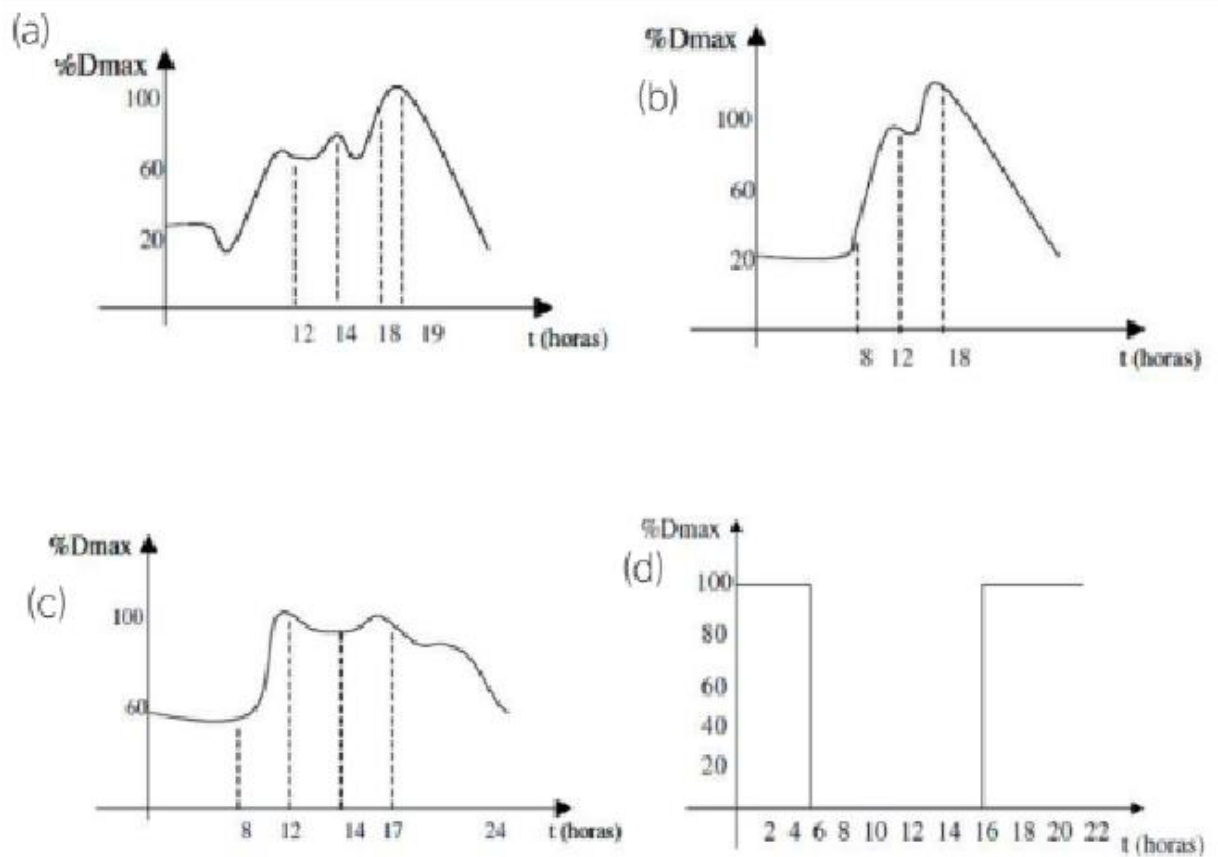
Figura 9 -Curva de carga típica de um barramento de distribuição.



Fonte: ANEEL, 2021.

Na carga comercial (figura 10.b), as solicitações normalmente ocorrem a partir dos horários comuns de início dos serviços (entre 8 e 9 horas) e sofre queda acentuada após o encerramento do expediente (18 horas). Em indústrias que funcionam em dois turnos, a carga diminui na hora do almoço e se reduz a um mínimo por volta das 18 horas, que se mantém até o início do turno no dia seguinte. As cargas de processamento contínuas (como fornos) não são desligadas durante a noite. Uma curva típica de carga industrial está na figura 10.c. A carga de iluminação pública, de uma forma geral, é bem definida (figura 10.d), ficando ligada do período das 18 horas às 6 horas e desligada das 6 horas às 18 horas (Vasconcelos, 2017).

Figura 10- Curva típica de carga (a) residencial, (b) comercial, (c) industrial e de (d) iluminação pública.



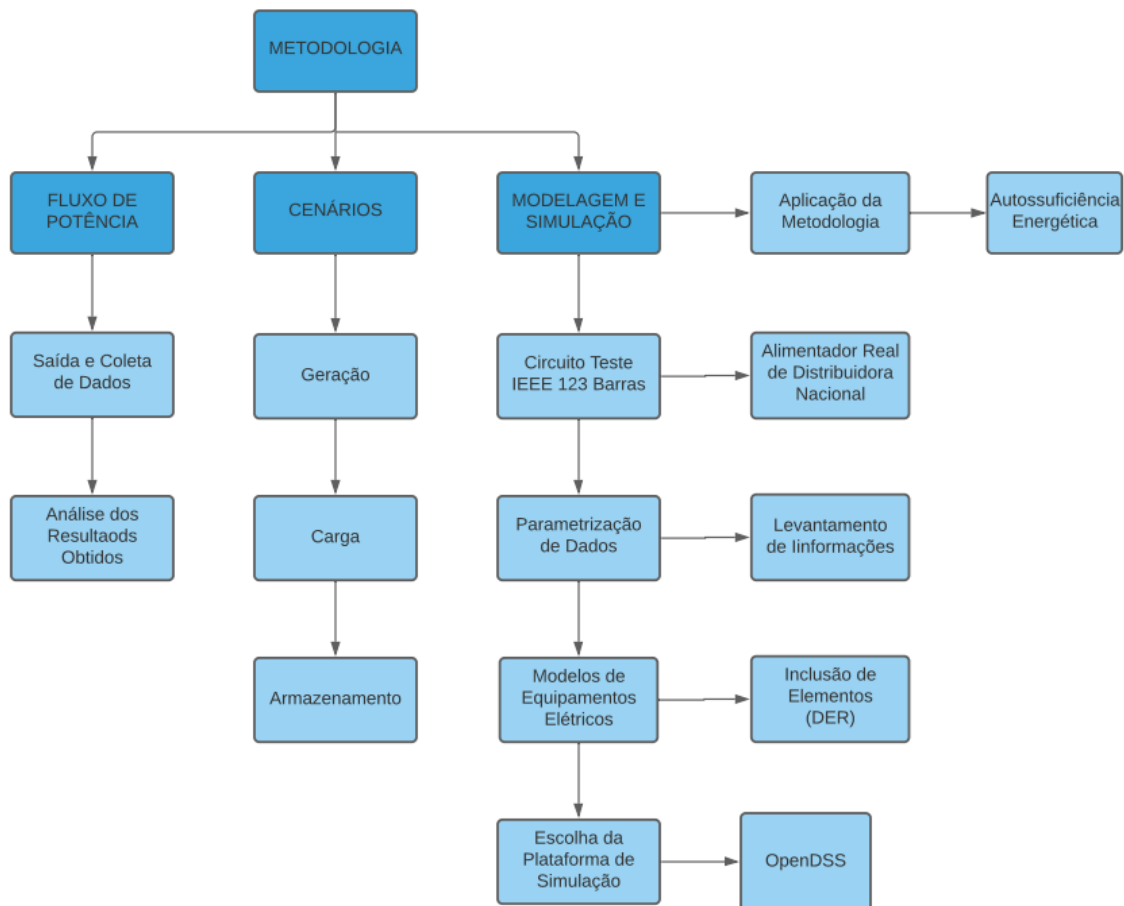
Fonte: Vasconcelos, 2017.

Diante dos desafios da tipificação das cargas, nos estudos no âmbito do presente trabalho serão definidos cenários, os quais são elaborados a partir de modelos apresentados na literatura técnica especializada e estão abordados no capítulo 3.

### 3. PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

Neste capítulo está disposto o procedimento metodológico para a elaboração da pesquisa e futura coleta de dados para validação do problema proposto. Em sequência, apresenta-se a metodologia desenvolvida para a elaboração da análise de autossuficiência energética de um alimentador que está disposta na figura 11.

Figura 11 - Fluxograma da metodologia.



Fonte: Autor, 2022.

No estudo de SILVA, 2005, constata-se que a modelagem e simulação na área das engenharias, a adoção deste tipo de técnica tem trazido benefícios como:

- Previsão de resultados na execução de uma determinada ação;
- A redução de riscos na tomada de decisão;
- A identificação de problemas antes mesmo de suas ocorrências;
- A eliminação de análises de sensibilidade
- A redução de custos com o emprego de recursos (mão-de-obra, energia, água e estrutura física)

- A revelação da integridade e viabilidade de um determinado projeto em termos técnicos e econômicos.

No presente estudo se aplica o circuito-teste IEEE 123, este, opera originalmente a uma tensão nominal de 4,16 kV. Embora não seja um nível de tensão popular, ele oferece problemas de queda de tensão que devem ser resolvidos com a aplicação de reguladores de tensão e capacitores de derivação. Este circuito é caracterizado por linhas aéreas e subterrâneas, carga desequilibrada com corrente constante, impedância e potência, quatro reguladores de tensão, bancos de capacitores em derivação e múltiplas chaves (IEEE - RESOURCES, 2021).

Para o processo de modelagem e simulação será utilizado o Software OpenDSS, pois este permite a realização de diversas funcionalidades relevantes para ações de operação e manutenção em redes de distribuição, principalmente na presença de DERs. Possibilita um cálculo eficaz e rápido do fluxo de potência nos alimentadores e permite que os dados necessários para sua execução e resultados obtidos de suas simulações sejam integrados a outras aplicações.

### **3.1 Parametrização de dados**

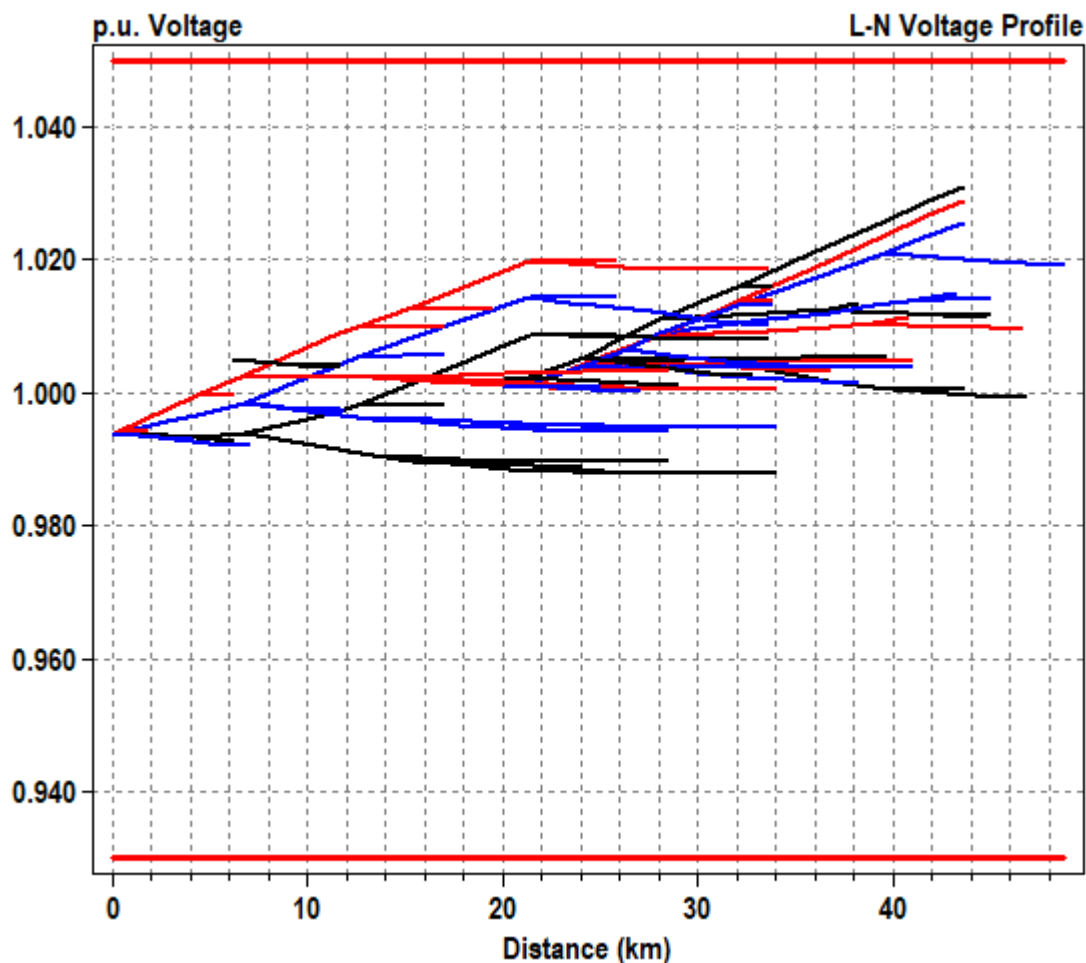
A parametrização de dados seguirá os modelos consultados em bibliografias apresentadas no referencial bibliográfico deste trabalho, deste modo, para uma ampla análise serão criados cenários em que o alimentador do circuito teste será submetido.

O primeiro passo para a elaboração destes cenários que o alimentador teste será submetido é a divisão dos itens que serão manipulados de acordo com a necessidade da modelagem e simulação.

### **3.2 Geração**

O circuito teste IEEE 123 barras possui uma alimentação proveniente de uma subestação com tensão de 13,8 kV e para atendimento destas cargas, possui o perfil de tensão ao longo da rede conforme a figura 12.

Figura 12 - Nível de tensão ao longo da rede.



Fonte: Autor, 2022.

Assim, baseando-se nos dados obtidos através da figura 12, pretende-se subir o nível de tensão presente nas barras deste alimentador a níveis que este não dependa mais da energia oriunda da subestação e sim dos sistemas de geração distribuída conectados a ele.

O OpenDSS possui uma ferramenta, chamada *PVSystem*, nela é possível dimensionar sistemas fotovoltaicos, como taxa de geração, potência, irradiância e todos os fatores que estão diretamente relacionados a geração de energia fotovoltaica. Para tanto, para esta pesquisa serão inseridos ao longo deste alimentador pontos de geração distribuída através da ferramenta *PVSystem*. A figura 13 apresenta um modelo desta configuração.

Figura 13 - Configuração do PVSystem.

```
! DEFINICAO DAS GD
New PVSystem.GD01 phases=3 bus=1.1.2.3 kV=13.8 kVA=300 Daily=irradiancia temperature=30 PF=1

New PVSystem.GD02 phases=3 bus=151.1.2.3 kV=13.8 kVA=300 Daily=irradiancia temperature=30 PF=1

New PVSystem.GD03 phases=3 bus=30.1.2.3 kV=13.8 kVA=300 Daily=irradiancia temperature=30 PF=1

New PVSystem.GD04 phases=3 bus=66.1.2.3 kV=13.8 kVA=300 Daily=irradiancia temperature=30 PF=1

New PVSystem.GD05 phases=3 bus=56.1.2.3 kV=13.8 kVA=300 Daily=irradiancia temperature=30 PF=1

New PVSystem.GD06 phases=3 bus=81.1.2.3 kV=13.8 kVA=300 Daily=irradiancia temperature=30 PF=1

New PVSystem.GD07 phases=3 bus=18.1.2.3 kV=13.8 kVA=300 Daily=irradiancia temperature=30 PF=1

New PVSystem.GD08 phases=3 bus=101.1.2.3 kV=13.8 kVA=3000 Daily=irradiancia temperature=30 PF=1

New PVSystem.GD09 phases=3 bus=79.1.2.3 kV=13.8 kVA=300 Daily=irradiancia temperature=30 PF=1

New PVSystem.GD10 phases=3 bus=13.1.2.3 kV=13.8 kVA=300 Daily=irradiancia temperature=30 PF=1
```

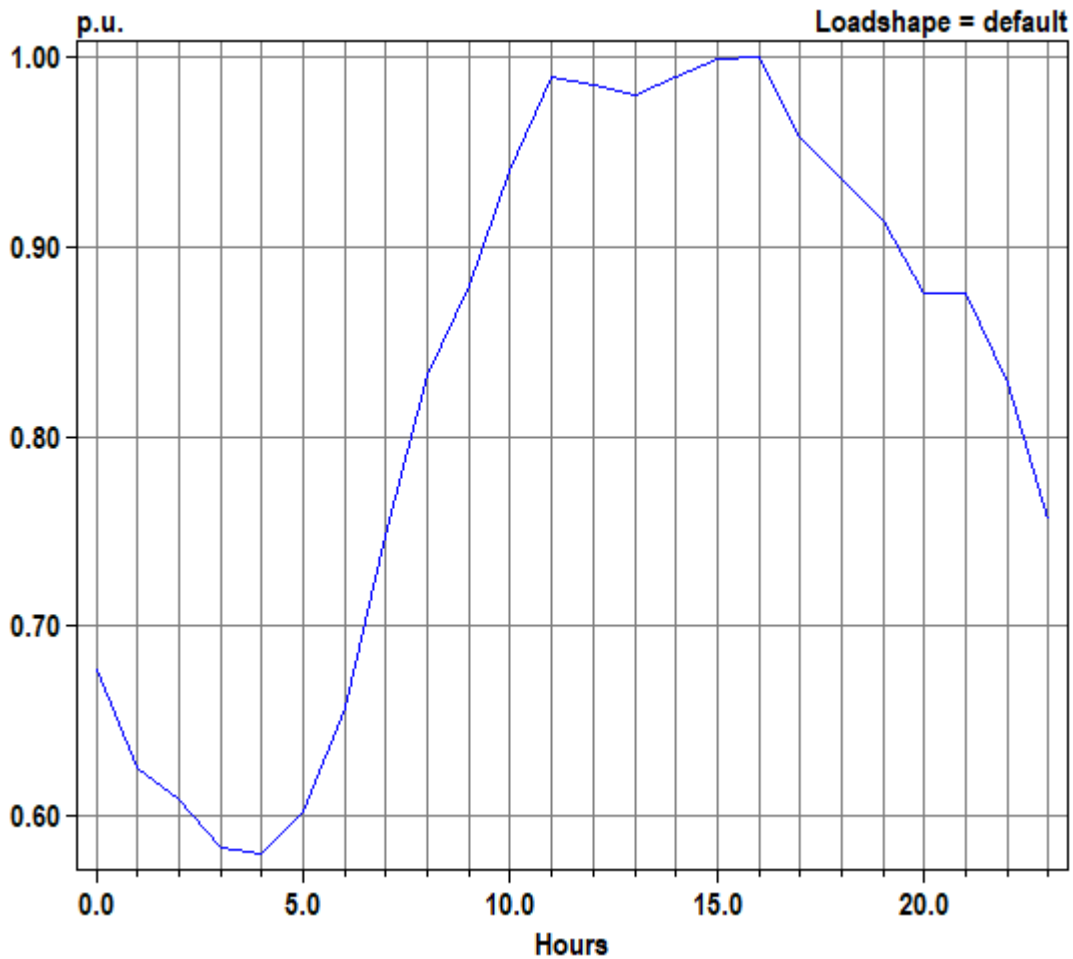
Fonte: Autor, 2023.

Com esta função é possível configurar fonte geradora monofásica ou trifásica, na modelagem das usinas a serem conectadas, todas apresentavam as mesmas características construtivas porém foram conectadas em pontos diferentes do alimentador teste.

### 3.3 Carga

A carga do circuito será utilizada conforme configuração inicial disponibilizada pela IEEE, ela possui um comportamento conforme a figura 14, porém para melhor análise de resultados, através de dados obtidos durante a revisão bibliográfica deste trabalho, modelou-se a carga para perfis de consumidores de baixa tensão classificados em residências, comerciais e industriais.

Figura 14 - Curva de carga do circuito teste.



Fonte: Autor, 2022.

### 3.4 Armazenamento

O armazenamento é representado por curva de carga, com características de uso e fornecimento de energia para a rede, neste estudo, a recarga do sistema de armazenamento acontecerá em um período de aproximadamente 4 horas, no período da manhã até as 12 horas e o período de descarga será quando o sistema necessite de uma maior quantidade de potência, neste alimentador, das 13 às 16 horas. A quantidade de potência armazenada a ser injetada na rede, será equivalente a 20% da energia gerada através da geração distribuída inserida neste circuito teste.

Este parâmetro baseia-se na PL 5829/2019, através do Marco Legal da Geração Distribuída que permite a quantidade para a comercialização para energia armazenada equivalente a 20% da potência instalada no sistema gerador. Assim, o requisito importante a ser analisado é se este valor pré-determinado será suficiente para este alimentador em um período de alta demanda. Conforme referenciado anteriormente, uma das grandes dificuldades da previsibilidade de comportamento do sistema elétrico



é que as cargas não possuem um perfil padrão, sendo assim a necessidade de energia inserida pode variar de acordo com caso a ser abordado.

### 3.5 Coleta e Análise de Dados

As áreas de pesquisas qualitativas são constituídas de diversas possibilidades metodológicas. Dentre as possibilidades existentes, para esta pesquisa, as coletas de dados serão baseadas no funcionamento do alimentador modelo comparando os cenários com e sem a conexão de geração. Portanto, este método comparativo, visa a verificação da quantidade pré-estipulada de energia consumida comparando-a com a energia gerada oriunda das conexões no próprio alimentador, averiguando os valores obtidos através de uma pesquisa interpretativa.

Para a proposta foi utilizado o método PDCA (*plan, do, control, action*) identificando pontos a serem aperfeiçoados durante o processo. Por fim, realiza-se uma análise para verificar os pontos positivos e negativos encontrados durante as etapas desenvolvidas neste estudo.

*Plan*, tradução direta do inglês, planejar, neste estudo, remete a proposta do trabalho, analisar o comportamento de um circuito teste (IEEE 123 BARRAS) quando submetido a cenários diferentes de seu estado de origem, neste caso, submetido a fontes de geração distribuída e armazenamento.

*Do*, fazer, significa a modelagem do alimentador de acordo com os cenários idealizados, analisando em primeira instância o comportamento do alimentador submetido a seu estado original, após isto, é verificado (*check*) a quantidade de energia consumida pelas cargas desta rede e então distribuído pontos de usinas remotas de mesma característica técnica a fim de verificar pontos como: a potência necessária a ser implantada para que todas as cargas sejam atendidas por energia oriunda do próprio alimentador e níveis de qualidade de energia nos pontos de conexão.

Agir (*act*), trata-se de colocar em ação todos os planos traçados no planejamento feito para que seja alcançado o objetivo da proposta.

#### **4. MODELAGEM E SIMULAÇÃO DO ALIMENTADOR**

O circuito teste utilizado IEEE 123 barras, possui parametrização com níveis de tensão diferentes e unidades de medidas diferentes dos parâmetros utilizados no Brasil, para ser realizado análises em que se possa nos basear com circuitos reais, é recomendado a modelagem do circuito em análise para parâmetros utilizados neste país, assim, retirado de CAPUCHIM (2016), o mesmo modelou o presente circuito para tais dados, como utilização de tensão primária em 13.8 kV, unidade de distância substituída para quilômetros e ohms/pés convertidos para ohms/km. A modelagem realizada por este autor teve validação em “ANÁLISE DOS IMPACTOS DA INSERÇÃO DE SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO COMPARTILHADO EM UMA REDE DISTRIBUIÇÃO”, portanto, é utilizada como uma fonte segura para base das análises.

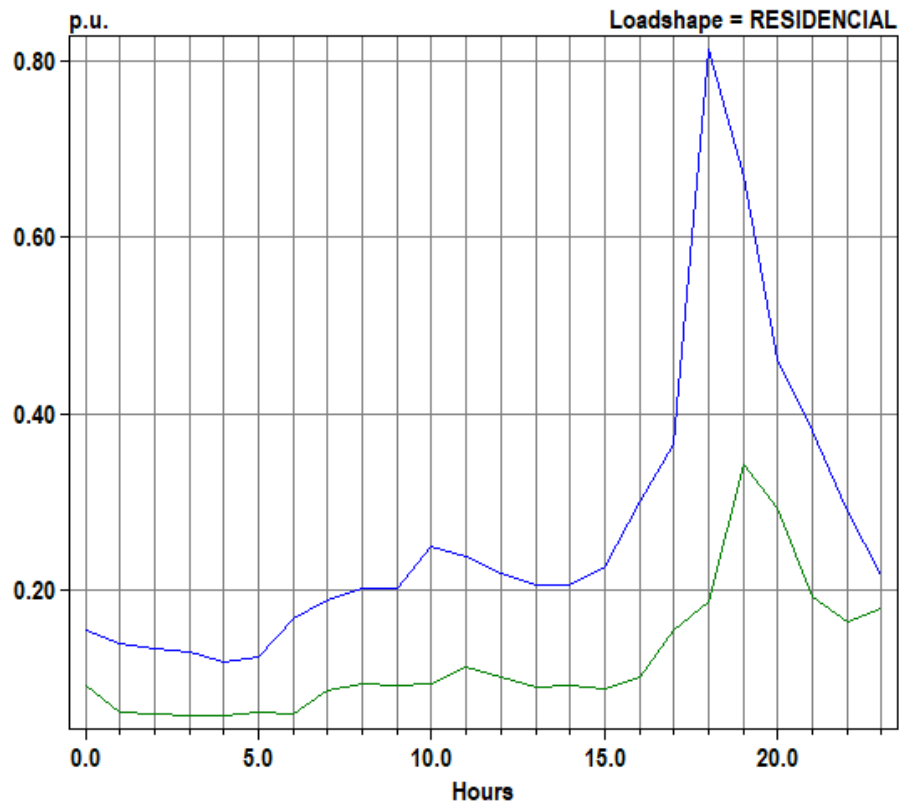
##### **4.1 Cargas IEEE 123 BARRAS**

A representação das curvas de cargas varia de acordo com o tipo de estudo a ser realizado, assim, podem ser consideradas cargas com potência constante, corrente constante ou impedância constante. É importante a ciência a respeito da variação das potências ativas e reativas com a variação da tensão e além disso, destaca-se que o perfil de cada classe consumidora ele modifica o seu comportamento nos dias úteis com relação aos finais de semana.

Outro ponto importante a ser destacado é o tipo de consumidores que se pode encontrar ao longo de um alimentador, estes podem ter características residenciais, comerciais e industriais, podendo ser enquadrados em categorias monofásica, bifásica ou trifásica. Embora seja possível constatar que na média tensão predominam as cargas trifásicas, ainda encontrasse cargas bifásicas e monofásicas, especialmente em zonas rurais.

O perfil de consumo residencial do alimentador teste é apresentado na figura 15, conforme já referenciado anteriormente, ele apresenta um perfil análogo ao encontrado na literatura técnica especializada, com seu pico de consumo a partir das 17 horas até as 22 horas.

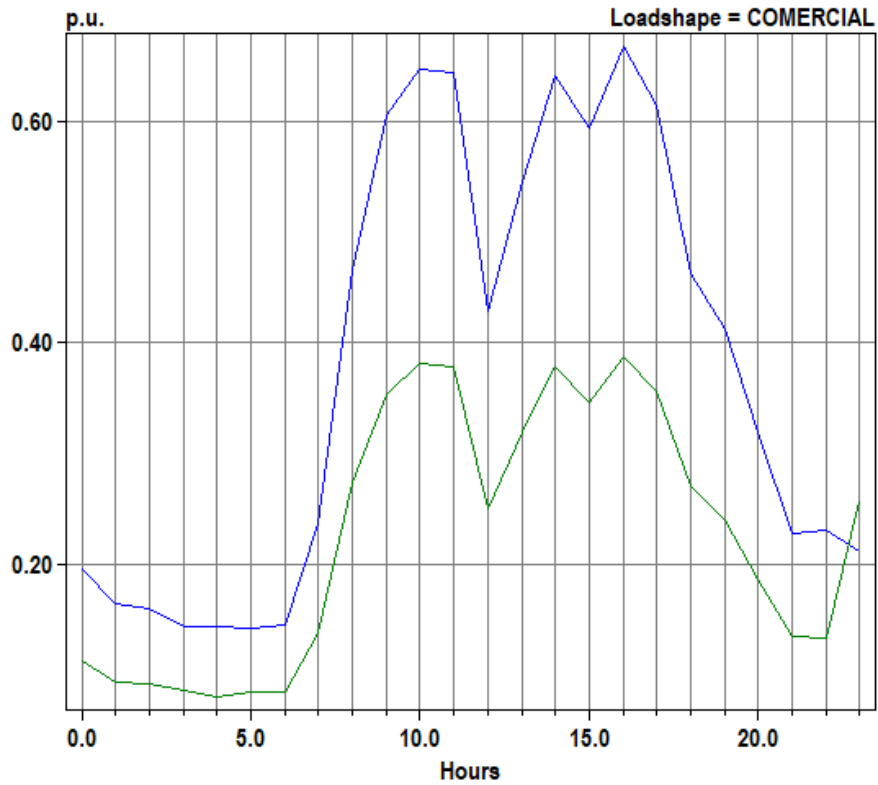
Figura 15 - Perfil de consumo residencial.



Fonte: Autor, 2022.

O perfil de consumo comercial possui características próprias que podem variar de acordo com o local em que se encontram, afinal, o comércio funciona de acordo com o perfil do consumidor, podendo variar horário de funcionamento. Para esta modelagem, utilizou-se um perfil de consumo padrão, onde o horário comercial tradicional com intervalo às 12 horas acarreta numa baixa do consumo, fato consumado através da figura 16. A linha azul apresenta a curva de potência ativa e a curva verde potência reativa.

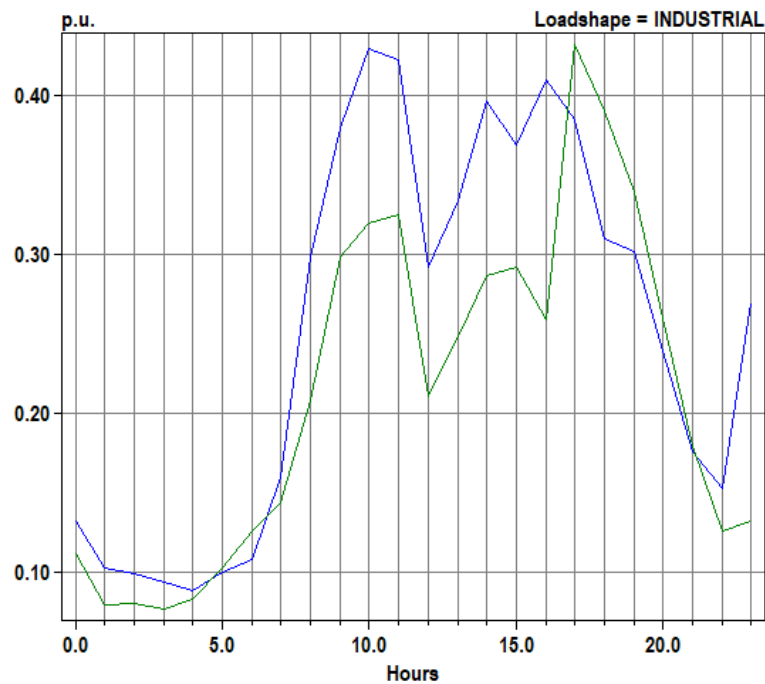
Figura 16 - Perfil de consumo comercial.



Fonte: Autor, 2022.

O consumo industrial, apresenta um perfil parecido com o comercial, destacando o baixo consumo a partir das 18 horas, onde inicia-se o horário de ponta.

Figura 17 - Perfil de consumo industrial.



Fonte: Autor, 2022.

## 4.2 Armazenamento de energia

Para o sistema de armazenamento, o software disponibiliza a função *storage*, onde é possível a criação de cenários de despacho de energia elétrica conforme configuração estabelecida pelo usuário conforme demonstra a figura 18.

Figura 18 - Função Storage OpenDSS

```

set LoadShapeClass=daily
set mode=daily stepsize=1.0h number=24

Redirect CARGAS.dss
!Redirect cargas2.dss
!Redirect carga.dss

!GD
redirect GD.DSS

!MEDICAO ENERGIA GD

New energymeter.GD01 element=line.L3 terminal=1
New energymeter.GD02 element=line.L51 terminal=1
New energymeter.GD03 element=line.L31 terminal=1
New energymeter.GD04 element=line.L65 terminal=1
New energymeter.GD05 element=line.L56 terminal=1
New energymeter.GD06 element=line.L81 terminal=1
New energymeter.GD07 element=line.L13 terminal=1
New energymeter.GD08 element=line.L118 terminal=1
New energymeter.GD09 element=line.L79 terminal=1
New energymeter.GD10 element=line.L10 terminal=1

!ARMAZENAMENTO

New LoadShape.BATERIA npts=24 interval=1.0 mult=(file=armazenamento.csv)
!Plot Loadshape Object=BATERIA

!New Storage.GD01 bus1=1.1.2.3 phases=3 kV=13.8 kWRated=60 kWhRated=100 kWhstored=100
!New StorageController.GD01 element=line.L3 %reserve=80 ModeCharge=Loadshape ModeDischarge=Loadshape daily=bateria
!New Monitor.BATERIA01 Element=Storage.GD01 terminal=1 mode=3

!New Storage.GD02 bus1=151.1.2.3 phases=3 kV=13.8 kWRated=60 kWhRated=100 kWhstored=100
!New StorageController.GD02 element=line.L51 %reserve=80 ModeCharge=Loadshape ModeDischarge=Loadshape daily=bateria
!New Monitor.BATERIA02 Element=Storage.GD01 terminal=1 mode=3

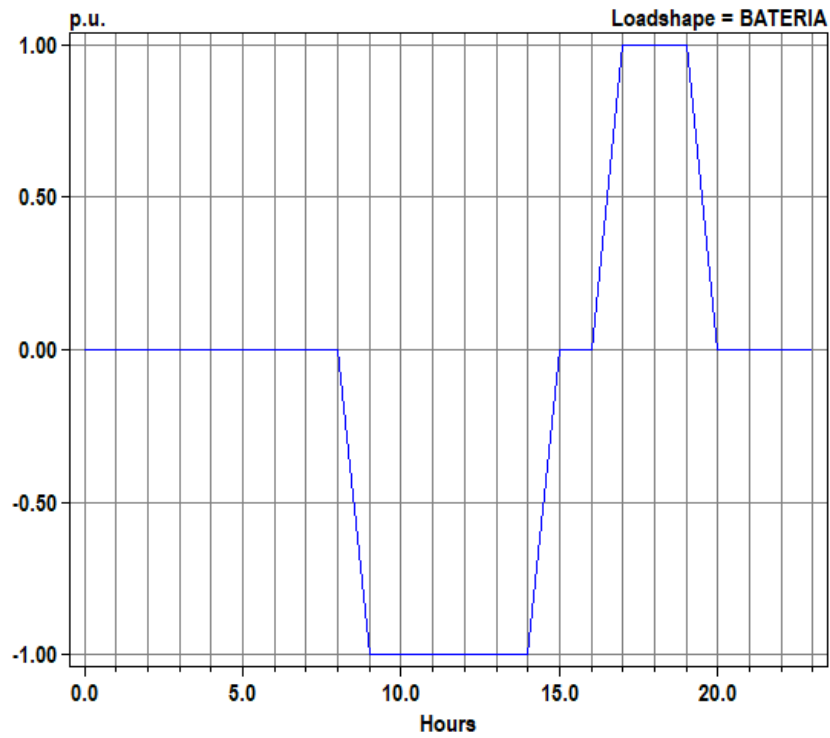
!New Storage.GD03 bus1=30.1.2.3 phases=3 kV=13.8 kWRated=60 kWhRated=100 kWhstored=100
!New StorageController.GD03 element=line.L31 %reserve=80 ModeCharge=Loadshape ModeDischarge=Loadshape daily=bateria
!New Monitor.BATERIA03 Element=Storage.GD01 terminal=1 mode=3

```

Fonte: Autor, 2022.

Esta função permite ao usuário configurar o sistema de armazenamento conforme características técnicas que ele deseja. Podendo ser aplicado o nível de tensão para conexão, potência do sistema e nível de energia de despacho. A curva de carga e descarga do sistema de armazenamento, é demonstrado abaixo, através da figura 19, onde as baterias fazem seu carregamento nos horários de pico da geração de fonte solar e fazem o despacho da energia no horário de pico do consumo, fazendo com que haja uma queda do nível de energia elétrica a ser enviada pela subestação.

Figura 19 - Curva de aplicação da bateria.



Fonte: Autor, 2023.

Este processo de modelagem dos parâmetros a serem incrementados ao alimentador teste serviram como base para uma melhor análise dos resultados, onde foi possível detectar possíveis erros nas linhas de código e corrigi-los para que não atrapalhassem nos efeitos que o circuito teste IEEE 123 Barras iria sofrer.

## 5. APLICAÇÃO DO MODELO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste capítulo, será analisado o comportamento do alimentador em funcionamento em seu estado original e após esta parte, será dado andamento a proposta de validação do estado de autossuficiência energética no circuito teste, incorporando na etapa seguinte linhas de código que correspondem a usinas fotovoltaicas e por fim colocando sistemas de armazenamento nestas usinas.

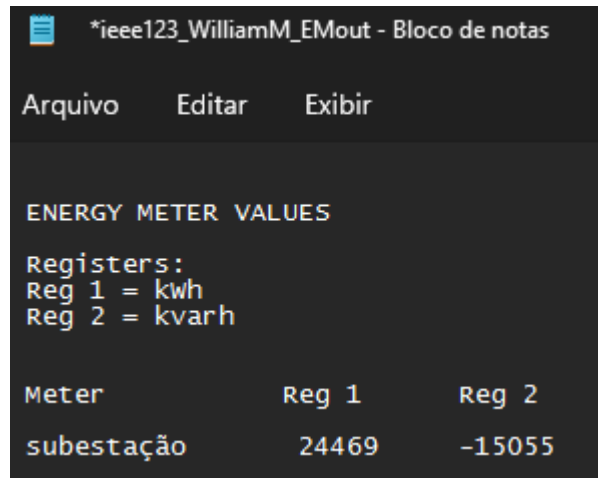
### 5.1 Cenário original

O alimentador do circuito teste IEEE 123 barras foi submetido a níveis de tensão de 13,8 kV, para este cenário então, foi utilizado o alimentador com características técnicas já encontradas em equipamentos conectados ao SIN. Este alimentador possui cargas monofásicas e trifásicas, sendo essas podendo ser de perfil residencial, comercial ou industrial conforme mencionado no capítulo anterior. Este alimentador está dividido em linhas, estas foram transformadas para unidade de medida de quilômetros.

Como a proposta da primeira etapa consiste em analisar a quantidade de energia elétrica consumida pelas cargas ao longo deste alimentador, conectou-se ao início da subestação um medidor de energia, chamado então, no OpenDSS de *Energymeter*. Este equipamento foi conectado na linha L115, que é a primeira linha do IEEE 123 barras.

Esta função do software permite que seja verificado diferentes grandezas do ponto em que está instalado, para este estudo, serão analisados apenas o Reg1, este registrado mede o nível de energia ativa consumida daquele ponto de conexão (início do alimentador) até o final. Os resultados obtidos são conforme a figura 20.

Figura 20 - Consumo de energia elétrica no alimentador



```
*ieee123_WilliamM_EMout - Bloco de notas
Arquivo  Editar  Exibir

ENERGY METER VALUES

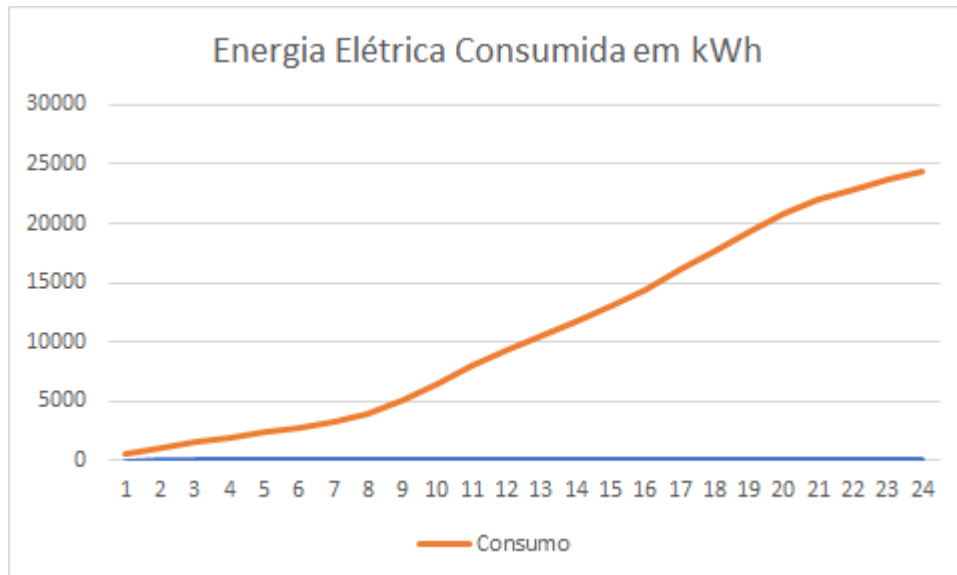
Registers:
Reg 1 = kwh
Reg 2 = kvarh

Meter          Reg 1      Reg 2
subestação    24469     -15055
```

Fonte: Autor, 2023.

Para uma análise mais completa do perfil de energia consumida na rede, foi utilizado o modo de análise *daily* do OpenDSS com horários diferentes, a análise foi baseada nas 24 horas do dia e, portanto, ser possível traçar a curva de energia necessária para alimentar todas as cargas conectadas ao circuito IEEE 123 barras. A figura 21 apresenta o balanço energético de energia durante o funcionamento do alimentador teste em um período de 24 horas.

Figura 21- Perfil de consumo diário de energia elétrica no IEEE 123 barras.



Fonte: Autor, 2023.

Com este valor de consumo total, ou seja, após as 24 horas de funcionamento, será implementado um valor de potência de geração distribuída a fim de que esta demanda seja atendida pelas unidades geradoras conectadas ao presente sistema.



Assim, nos próximos dois tópicos será possível analisar o comportamento da demanda de energia elétrica quando atendido por fontes de geração distribuída. Por fim, após a conclusão da quantidade e potência total de usinas a serem conectadas no alimentador, os pontos em que estarão conectadas essas usinas serão submetidos à análise de perdas em estados com e sem a conexão de geração distribuída.

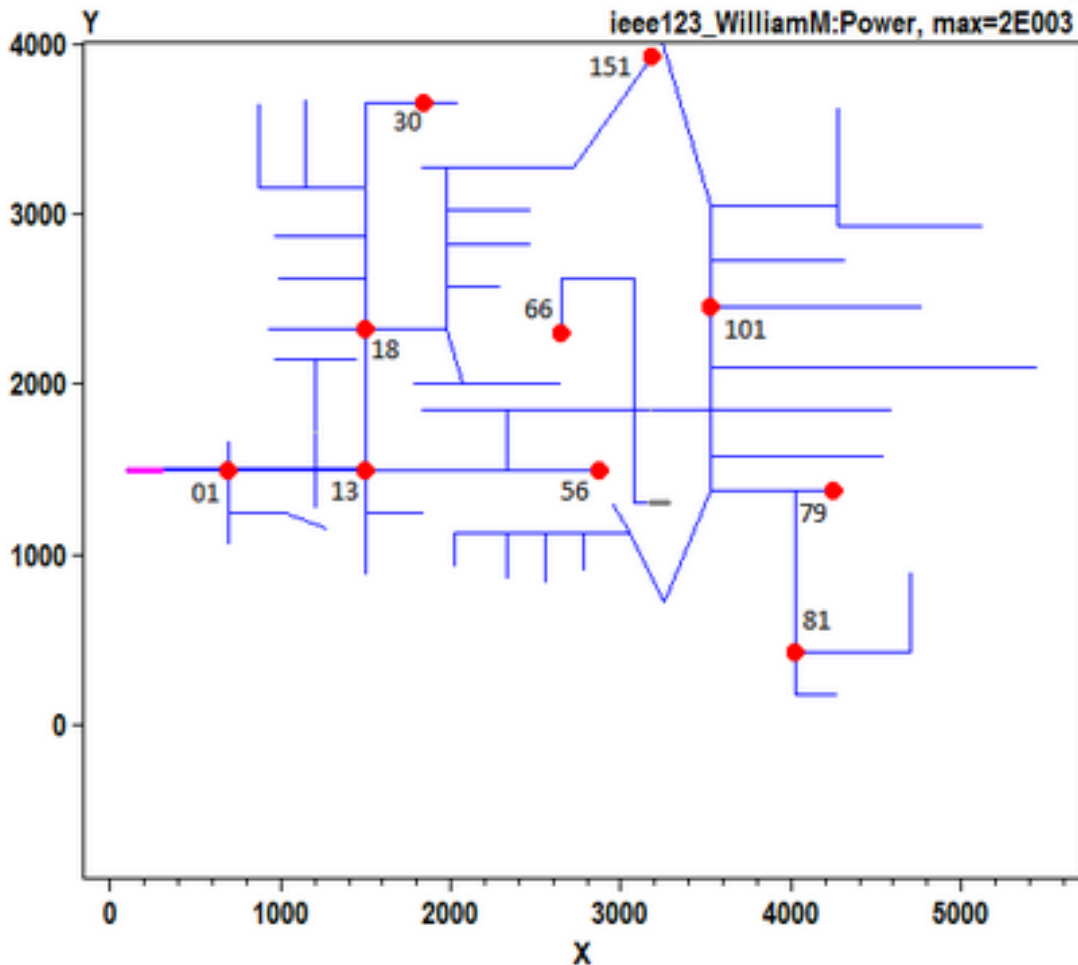
## **5.2 Cenário 2 - GD e sem armazenamento**

As cargas que serão conectadas no alimentador IEEE 123 BARRAS serão cargas ativas e reativas, assim a análise será realizada durante os sete dias da semana, porém, com o mesmo perfil de consumo. As cargas utilizadas para este alimentador são as originais do arquivo IEEE 123 Barras conforme previamente disponibilizado no arquivo.

Para este cenário, optou-se pela instalação de pontos de geração distribuída em locais mais distantes da subestação, onde, teoricamente, haveria pontos em que o nível de tensão estaria mais abaixo do que a norma. Ao propor a autossuficiência do alimentador, optou-se por conectar usinas de mesma potência até que a energia observada no medidor instalado na subestação apresentasse um fluxo inverso. Para esta análise então, foi necessário a conexão de dez unidades geradoras de fonte fotovoltaica com 300 kW de potência instalada em cada.

Os pontos de conexão de geração foram escolhidos através do quesito aleatoriedade, conforme demonstrado na imagem abaixo, representados por pontos vermelhos, conforme figura 22.

Figura 22 - Pontos de Conexão de Geração Distribuída



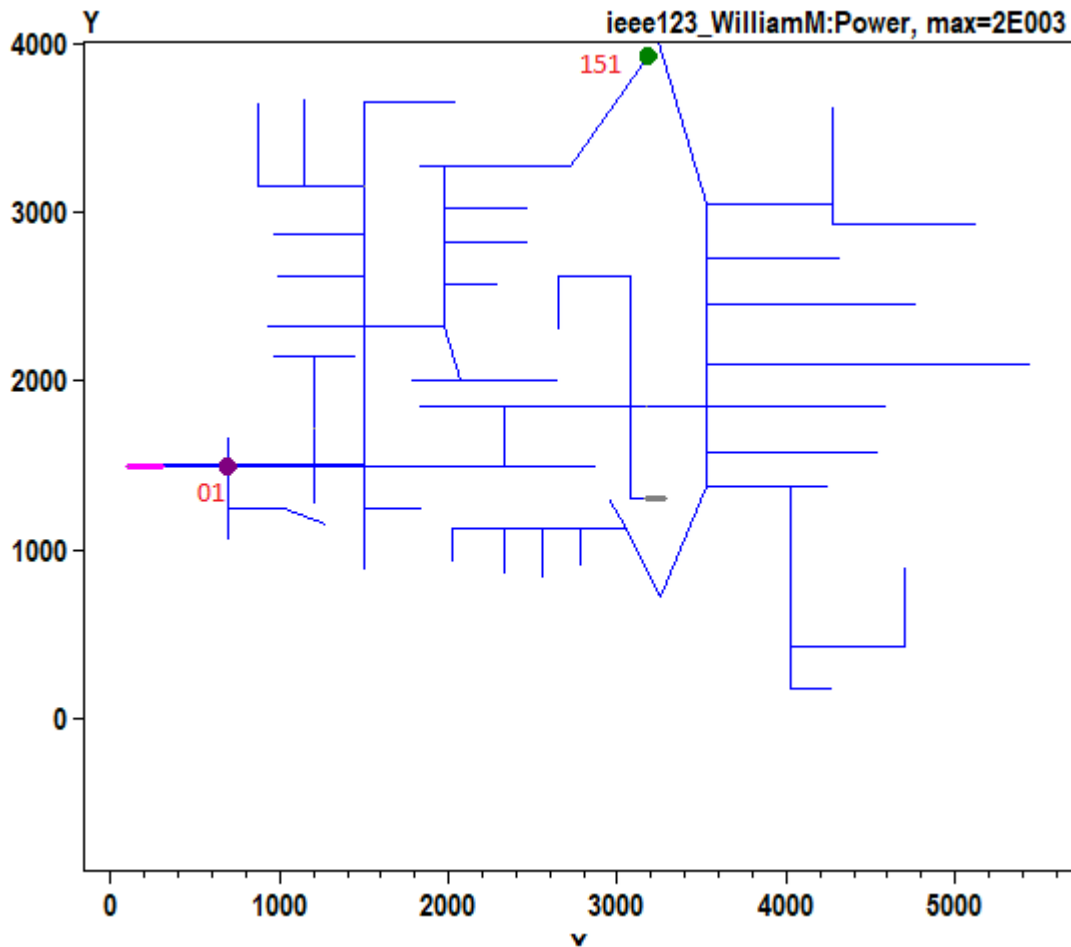
Fonte: Autor,2023.

Assim, após a verificação da potência necessária para que este alimentador se tornar autossustentável, realizou-se análises com níveis de conexão de geração distribuída, o intervalo utilizado foi de 20% e então foi possível a obtenção de resultados parciais sobre o comportamento da rede ao longo das implementações das usinas.

A primeira análise foi considerando 20% da potência total instalada, as duas usinas consideradas encontram-se na barra 1 e barra 151 e suas respectivas localizações estão destacadas em cinza e roxo na imagem abaixo. Conforme mencionado no início desta etapa, a escolha da barra 151 deu-se por opção aleatória, optando-se por pontos de conexão trifásicos o mais distante possível da subestação, onde será possível encontrar pontos de subtenção. Enquanto a barra por ser próxima da subestação e passar toda a energia elétrica dissipada ao longo do alimentador.

A figura 23 apresenta os dois primeiros pontos de conexão de GD na rede, onde a descrição destes pontos encontra-se no parágrafo anterior.

Figura 23 - Pontos de Conexão de Geração Distribuída em 20% de necessidade

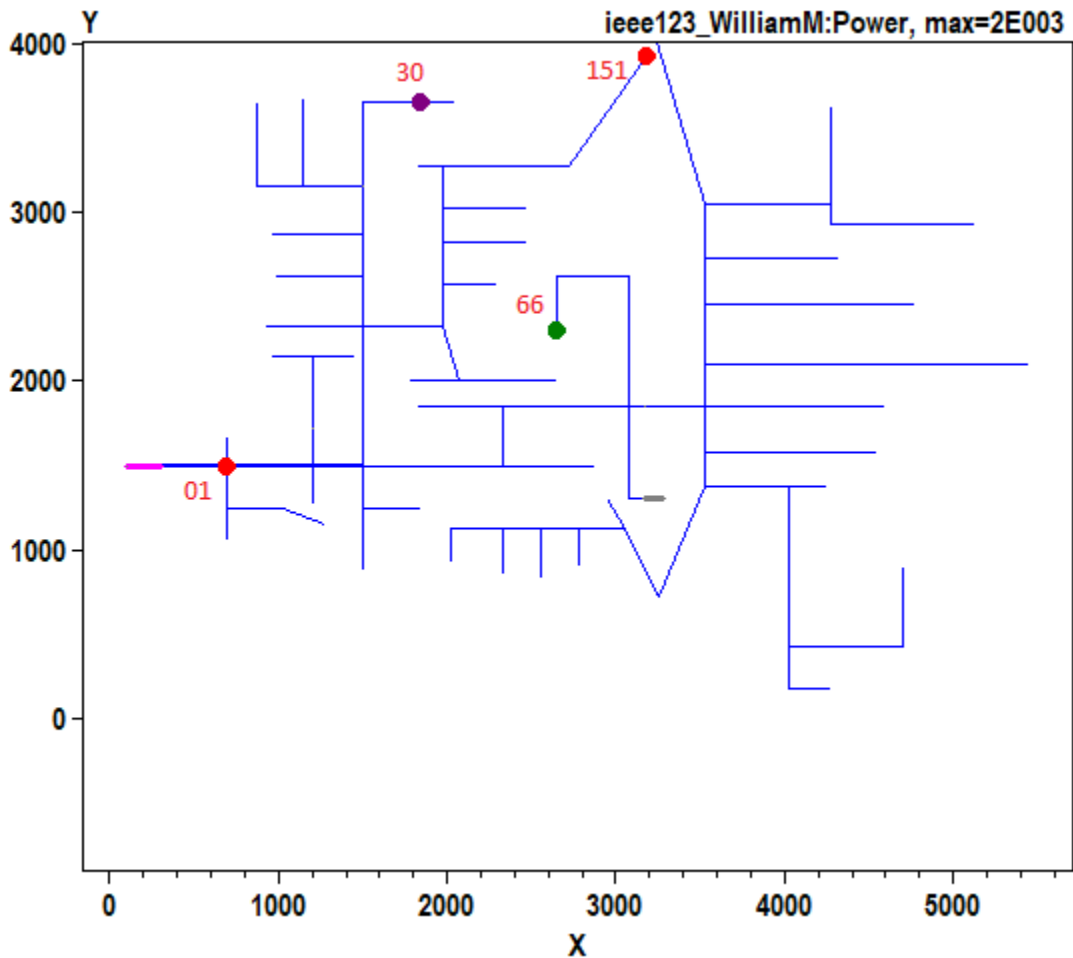


Fonte: Autor, 2023.

Assim obteve-se os seguintes resultados. Conforme expresso a seguir. Na linha 51, conectada a barra 151, ocorre uma autossuficiência energética nesta ramificação, este resultado era presumível, uma vez que a potência instalada no local era baixa e analisando a tabela 2, o nível de energia medida no local era de 0 kWh.

Na etapa seguinte, utilizou 40% de geração distribuída conectadas ao respectivo alimentador, mantendo as duas fontes de 300kW conectadas às barras 1 e 151 e acrescentando duas novas usinas de 300kW também as barras, a usina da barra 30 está marcada com a cor roxa e a outra com a cor verde e marcado com coloração vermelha as usinas já em operação. O local das novas usinas estão apresentados na figura 24.

Figura 24 -Pontos de Conexão de Geração Distribuída em 40% de necessidade



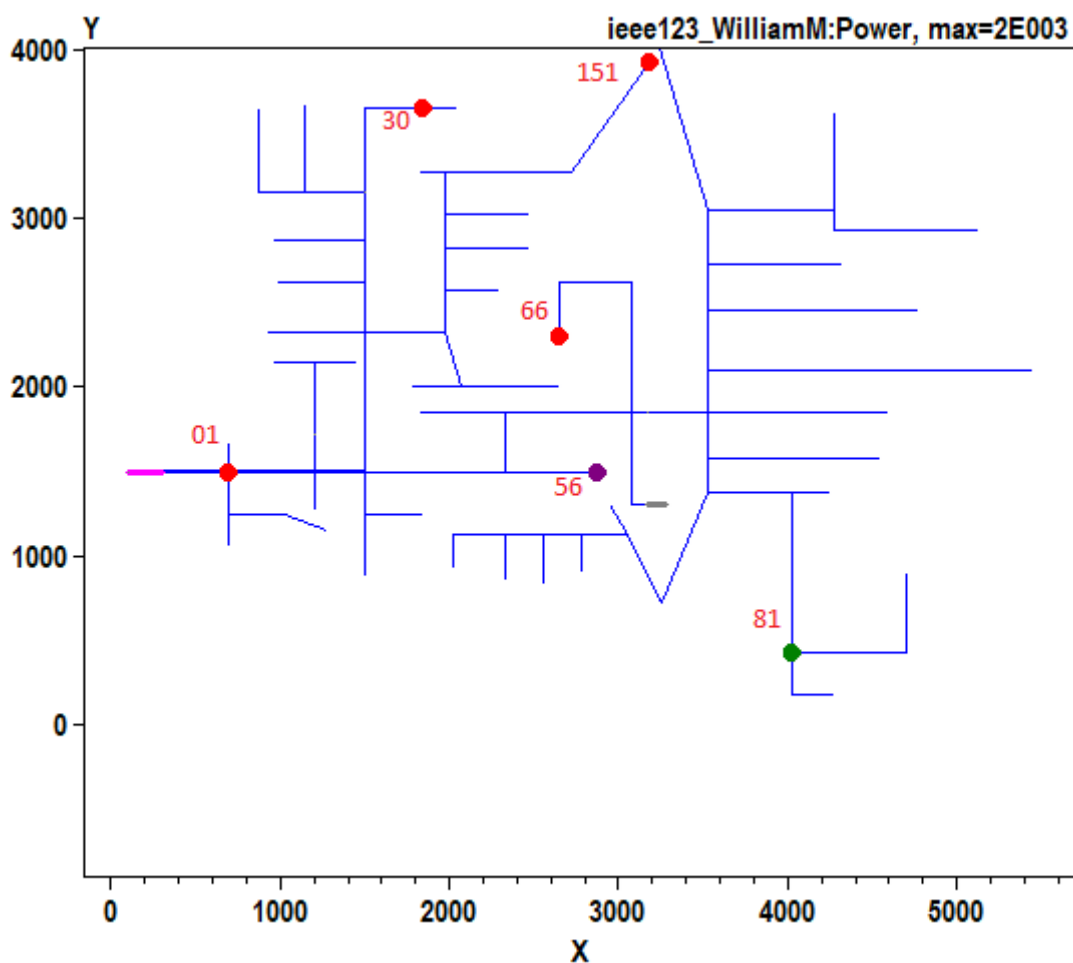
Fonte: Autor,2023.

Através dos dados obtidos, a seguir, é possível analisar que a energia medida na subestação reduziu consideravelmente, isto se dá pelo fato de que a energia consumida pelas cargas conectadas a rede está sendo fornecida pelas fontes de geração distribuída conectadas ao alimentador, diminuindo a necessidade de energia fornecida através da subestação.

Com a conexão de 60% de toda a potência necessária para tornar o alimentador teste em estado de autossuficiência energética, já é possível analisar o aumento dos níveis de corrente elétrica nas barras onde as usinas fotovoltaicas são conectadas. Outro aspecto técnico importante, levando em consideração ao ponto de conexão das fontes de geração, é que em exceção à usina conectada no início do alimentador, todos os outros pontos já possuem uma geração de energia elétrica maior do que o consumo nas cargas à jusante da conexão.

Para esta etapa (figura 25), foram acrescentadas duas novas usinas de 300 kW cada, conectadas nas barras 56 (roxo) e 81 (cinza). A barra 56 está situada no fim da rede e assim durante as análises elaboradas, é possível verificar que não haverá mais alteração no medidor instalado neste local e apenas uma pequena variação nos dados de fluxo de potência, corrente elétrica e nível de tensão na barra. Na barra 81 e sua respectiva linha, o fluxo de potência altera em torno de 300 kW, o que representa a potência da usina conectada no local.

Figura 25 - Pontos de Conexão de Geração Distribuída em 60% de necessidade

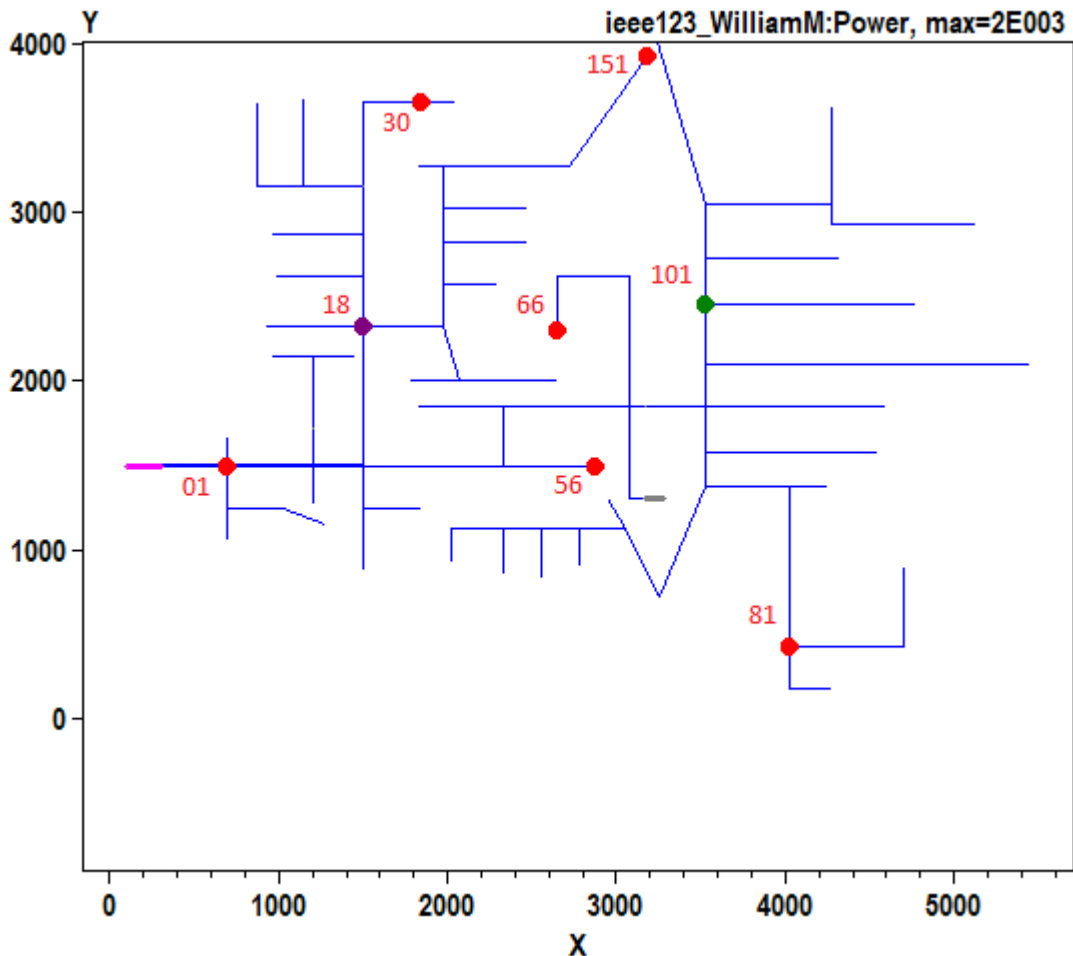


Fonte: Autor,2023.

Ao conectar outros 600kW em potência de duas usinas com as mesmas características das outras usinas, conectadas nas barras 56 (roxo) e 81 (verde), identifica-se que as conexões de GD em locais de final de rede, o status de autossuficiência energética começa a ser percebido, o fluxo de potência sofre alteração conforme a carga conectada e há um pequeno acréscimo no nível de tensão, conforme tabela 3.

Com a conexão de outras duas usinas de 300 kW cada, conforme a figura 26, o nível de tensão medido na subestação demonstra tendência de uma possível validação da proposta, uma vez que diminuiu cerca de 75% a proporção de energia elétrica oriunda da subestação, cujos dados são validados e demonstrados através da tabela 6.

Figura 26 - Pontos de Conexão de Geração Distribuída em 80% de necessidade

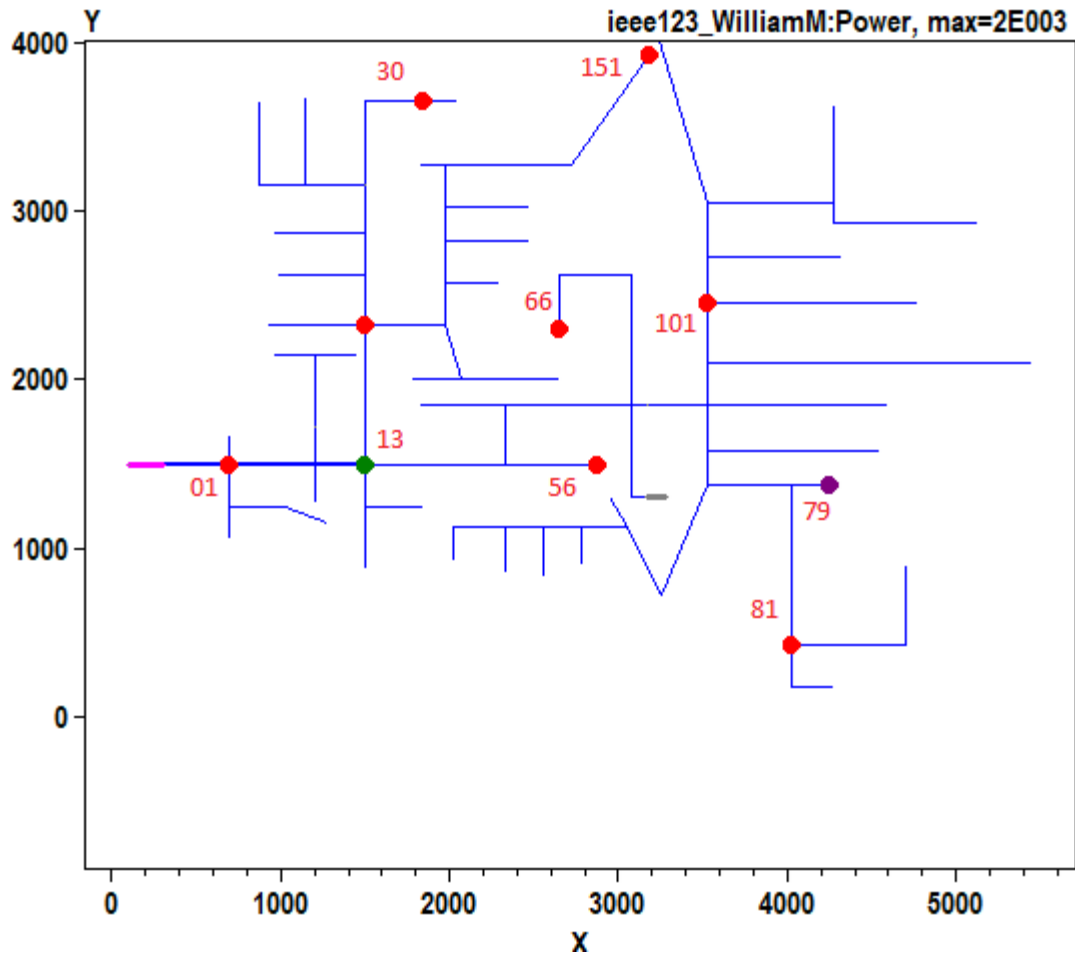


Fonte: Autor, 2023.

Com a conexão das últimas duas usinas, é totalizado uma potência de 3 MWp de geração distribuída de fonte fotovoltaica instalada no alimentador, o alimentador apresenta um quadro de autossuficiência energética, conforme a proposta inicial da pesquisa. As duas últimas fontes foram conectadas nas barras 79 e 13, cores roxo e verde respectivamente. Na barra 79, por ser final de rede e apresentar uma baixa carga instalada no local, o nível de energia elétrica medida em etapas anteriores era baixo, quando conectada a fonte geradora apresentou um fluxo de potência com sentido inverso, despachando energia para outras cargas ao longo do alimentador. A barra 13

é esta logo depois da subestação, assim, o nível de energia medida é basicamente igual ao nível de energia medida na subestação com exceção, pois há cargas conectadas a jusante desta barra. Assim, o valor encontrado neste ponto tende a ser parecido com o valor de energia encontrado na subestação.

Figura 27 - Pontos de Conexão de Geração Distribuída em 100% de necessidade



Fonte: Autor,2023.

Tabela 1 - Pontos de Conexão de Geração Distribuída em 100% de necessidade

100% GD						
Linha (GD)	Power Flow	if [A]	Vf [kV]	Vf [p.u.]	Losses	EnergyMeter [kWh]
L3 (01)	[-1357,09 kW - j 648,192 kVAr]	[51,532 72,422 65,9]	[7,927 7,929 7,925]	[0,995 0,995 0,995]	[5,673 kW + j 9,726 kVAr]	1836
L51 (02)	[-299,654 kW - j 2,230 kVAr]	[12,312 12,281 12,327]	[8,090 8,166 8,093]	[1,015 1,025 1,016]	[0,346 kW - j 2,320 kVAr]	-2686
L31 (03)	[-291,050kW - j 1,253 kVAr]	[12,358 12,227 11,228]	[8,078 8,167 8,095]	[1,014 1,025 1,016]	[0,229 kW - j 1,912 kVAr]	-2431
L65 (04)	[-267,308 kW - j 13,672 kVAr]	[11,973 11,918 8,205]	[8,354 8,393 8,268]	[1,048 1,053 1,038]	[0,591 kW - j 22,421 kVAr]	-2005
L56 (05)	[-291,261 kW + j 0,976 kVAr]	[12,250 11,144 12,267]	[8,165 8,198 8,144]	[1,025 1,029 1,022]	[0,178 kW - j 1,524 kVAr]	-2506
L81 (06)	[-261,928 kW - j 635,487 kVAr]	[28,258 29,000 26,915]	[8,158 8,195 8,162]	[1,024 1,029 1,024]	[1,703 kW + j 0,217 kVAr]	-1815
L13 (07)	[623,732 kW + j 52,521 kVAr]	[20,556 28,656 28,439]	[8,068 8,094 8,045]	[1,013 1,016 1,010]	[2,612 kW - 0,060 kVAr]	-1765
L118 (08)	[105,335 kW + 2,313 kVAr]	[5,839 3,157 4,193]	[7,995 8,025 8,014]	[1,003 1,007 1,006]	[0,024 kW - j 1,605kVAr]	2396
L79 (09)	[-287,745 kW + j 3,135 kVAr]	[10,837 12,271 12,312]	[8,111 8,146 8,121]	[1,018 1,022 1,019]	[0,144 kW - j 1,239 kVAr]	-2439
L10 (10)	[-1407,133 kW - j 673,673 kVAr]	[55,944 72,905 65,853]	[8,012 8,034 7,999]	[1,006 1,008 1,004]	[5,888 kW - j 10,087 kVAr]	703
<b>SUBESTAÇÃO</b>						<b>329</b>

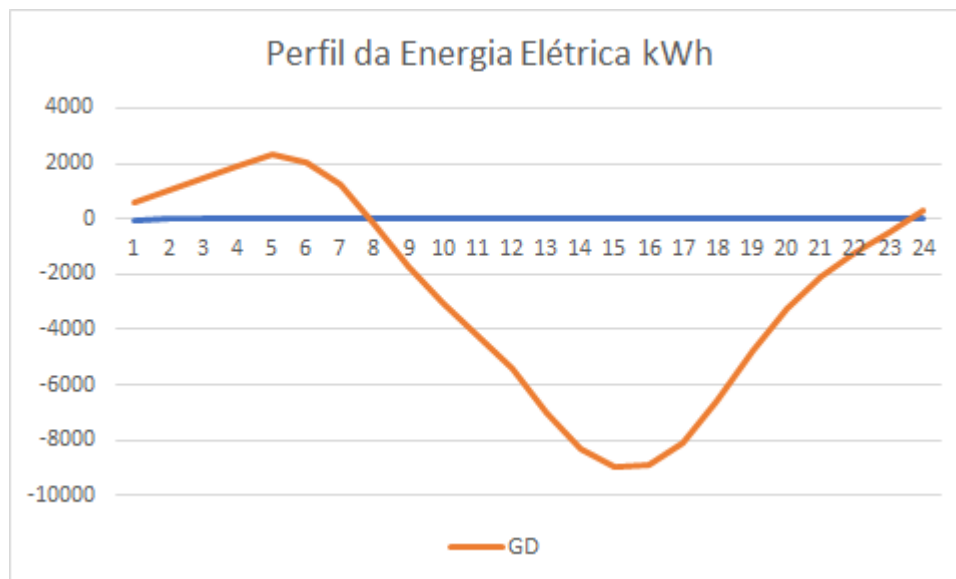
Fonte: Autor, 2023.

O perfil de energia elétrica para o circuito teste segue conforme a próxima figura. Através deste gráfico, é possível verificar que o nível de energia elétrica oriunda da subestação começa a baixar após o início do funcionamento das usinas, os valores de energia elétrica apresentados com unidades negativas, demonstram que há mais



geração do que consumo no alimentador. A maior quantidade de energia produzida em excesso no circuito é em torno de 15 horas da tarde e após isso a quantidade de energia instantânea consumida passa a ser maior do que a gerada, porém como há excesso dos outros horários o alimentador passa a resgatar os valores em excesso anteriormente, até ao final do dia o consumo total seja igual a geração total de energia elétrica.

Figura 28 – Balanço energético com geração no alimentador no cenário com GD.



Fonte: Autor, 2023.

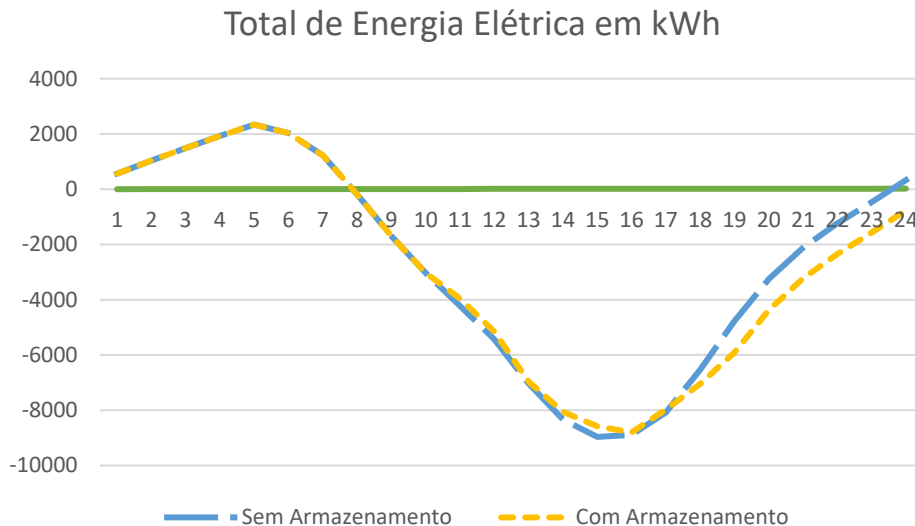
### 5.3 Cenário 03 - GD e Armazenamento

Neste cenário, baseando-se na REN 14.300, referência já citada ao longo deste trabalho, é proposto então que as dez usinas conectadas ao sistema possuíssem assim fonte de armazenamento de energia e despachem para o sistema um total de 20% da potência nominal das usinas, ou seja, 60 kW. O objetivo desta proposta é a obtenção de resultados que acrescentem ainda mais propriedade ao termo “autossuficiência energética”. O circuito teste IEEE 123 BARRAS, conforme figura 29, o local de conexão das usinas e suas respectivas unidades de armazenamento não sofrerão alteração neste tópico da proposta, assim, os resultados obtidos serão comparados com os já encontrados previamente.

Conforme a figura 35, o sistema de armazenamento foi dimensionado para possuir uma potência de 60 kW, com capacidade de 100 kWh de despacho de energia elétrica, como consequência. vide a próxima figura, é possível verificar a comparação

do perfil de energia elétrica registrado pelo medidor conectado a subestação ao longo de um dia inteiro de pleno funcionamento.

Figura 29 - Curvas de Energia Elétrica.



Fonte: Autor, 2023.

Ao concluir a análise sobre os estados propostos, as curvas do gráfico acima apresentam de forma satisfatória a implementação do sistema de armazenamento e despacho na rede de distribuição, a curva de energia elétrica no medidor da subestação no estado apenas com geração distribuída, linha pontilhada, apresenta o mesmo comportamento da curva com geração distribuída e armazenamento (tracejada) até as 10 horas, a partir deste ponto, a quantidade de energia sentido alimentador subestação diminui devido a necessidade de carregamento do sistema de armazenamento até as 14 horas, após as 18 horas as baterias começam a despachar energia para o sistema, fazendo com que haja uma discrepância ainda maior na quantidade de energia gerada no alimentador. Assim, este comportamento é irrefutável, uma vez que o armazenamento começa o seu despacho às 18 horas, portanto, fica evidente que, após este horário, o nível de energia gerada dentro do circuito teste passa a ser maior e portanto aumenta a confiabilidade do alimentador em seu estado autossuficiência.

O cenário de geração distribuída com despacho de energia através de fonte de armazenamento demonstra ser uma forma viável de fornecimento de energia elétrica para as outras unidades consumidoras conectadas à rede de distribuição, uma vez que estas são fontes seguras de fornecimento, onde não dependem de fatores externos para desempenharem sua função, exceto, considerando o bom funcionamento de

equipamentos que façam a conversão de corrente contínua para alternada e também que exista alguma fonte de energia que faça o carregamento destes equipamentos para que possam realizar o armazenamento da energia.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

A primeira etapa deste trabalho apresentou resultados a servirem como base para as etapas de conexão de pontos de geração distribuída no circuito teste IEEE 123 barras, assim, os resultados obtidos fomentaram os meios de pesquisa e coleta de dados a serem utilizados no processo. É de suma importância que haja referências para validação de resultados, facilitando de tal modo, possibilitar melhores análises e até mesmo a criação de novas propostas para seguimento de pesquisa relacionadas aos tópicos abordados. Ao simular o circuito teste em seu estado inicial, ou seja, sem a conexão de fontes geradoras no circuito, foi possível obter o comportamento de consumo do alimentador ao longo do dia, bem como dados de fluxo de potência, nível de tensão e corrente elétrica em determinados pontos, estes serviram para analisar o comportamento do modelo aplicado e servirão, em futuras pesquisas, como base para tais estudos.

O comportamento de energia consumida neste alimentador sem fontes geradoras foi o esperado, como o modo de simulação foi o *daily*, ou seja, diário, o consumo de energia apresenta uma crescente ao longo do dia, com grandes acréscimos em horários comerciais, que equivalem a cerca de 65% de todo o consumo de energia elétrica apresentado no alimentador. O fluxo de potência analisado, apresenta valores que estão adequados para a potência instalada no circuito.

Ao realizar a conexão de fontes de geração distribuída neste alimentador, com intuito de validar o conceito de autossuficiência energética no mesmo, onde toda a energia consumida por ele fosse produzida no próprio alimentador, porém o quão viável é realizar este tipo de estratégia em uma rede de distribuição. Portanto, questionamentos que no início do projeto vieram a tona, foram sendo respondidos de forma natural no desenvolvimento do trabalho, já que não houve necessidade de muitos pontos de conexão, o que economicamente viabiliza a proposta, outro ponto seria o quão prejudicial seria para os consumidores conectados nesta rede em questões relacionadas à qualidade de energia elétrica. Diante dos resultados satisfatórios obtidos, é perceptível que a proposta em tese é válida, uma vez que o fluxo de potência não apresentou alterações significativas a não houve níveis de subtensão e nem sobretensão no alimentador em nenhum ponto, principalmente nas barras próximas às usinas conectadas. O respectivo alimentador opera numa tensão de 13.8 kV com

variação possível na faixa de 0.95 p.u. até 1.05 p.u em termos de nível de tensão, condição que atende valores de referência da legislação vigente.

Ao colocar acoplar as usinas fotovoltaicas aos sistemas de armazenamento com despacho de 20% da potência nominal do sistema, para avaliar a condição indicada na legislação recente, baseando-se nas duas primeiras análises elaboradas, esperava-se encontrar um alimentador com situação de autossuficiência energética ainda mais afirmado, o que de fato ocorreu durante os estudos realizados.

No cenário com apenas geração distribuída o alimentador ficou praticamente com energia consumida e produzida em valores equivalentes, porém com o despacho de energia elétrica oriunda das baterias a autossuficiência do alimentador se afirmou ainda mais. Neste cenário, é possível destacar o quão benéfico seria para a rede possuir pontos de despacho de energia descentralizada em horários de maiores consumos, como o simulado nesta pesquisa. No aspecto de questões técnicas, com o maior número de cargas conectadas à rede e aumentando a distância do ponto de análise em relação a subestação, o nível de tensão tende a diminuir, colocando em risco as instalações nela conectadas. Por sua vez, a geração distribuída por si própria trouxe resultados satisfatórios quanto a este quesito, porém a mesma é uma fonte intermitente e no período de maior consumo, chamado horário de pico de consumo, como não há radiação solar sendo aplicada ao módulo, não há geração, assim as baterias tendem a suprir esta falha, contribuindo para se manter um nível de qualidade de energia dentro dos parâmetros estipulados.

Por fim, destaca-se o quão agregante é a elaboração de um estudo deste nível para um profissional que atua no ramo de sistemas elétricos de potência, a área desta pesquisa é ampla, fazendo com que diversos tópicos fossem analisados, agregando ainda mais valor ao Engenheiro de Energia em tópicos de pesquisa relacionadas ao assunto e até mesmo na ampliação do mercado de trabalho.

### **6.1 Sugestões para trabalhos futuros**

Em proposta aos resultados obtidos durante as análises elaboradas durante o processo de execução deste trabalho, alguns pontos se afastam a proposta do mesmo, mas apresentam questões que geram dúvidas e podem ser trabalhadas dando continuidade a este estudo:

- Estudo sobre a alteração do nível de potência reativa no alimentador com a conexão das fontes geradoras distribuídas.
- Viabilidade para a implementação de fontes de armazenamento que sejam alimentadas pela própria rede de distribuição e sejam conectadas em outros pontos de necessidade do alimentador.
- Elaboração de estudo de viabilidade financeira a respeito do sistema de armazenamento com despacho de energia em horário de pico.
- Variar a quantidade de pontos de conexão com armazenamento, verificando a condição de autossuficiência energética e elaborando análise sobre o comportamento do alimentador, baseando-se no critério de qualidade de energia elétrica.
- Direcionar esse estudo para prospecção de iniciativas inovadoras no âmbito da distribuição, como a prestação de serviços ancilares por consumidor gerador.
- Modelagem de tipos de baterias no OpenDSS para realizar cenários de despacho de energia, analisando assim o comportamento do alimentador com cada tipo de *storage*.

## 6.2 Publicações

Baseado em resultados parciais obtidos durante a elaboração desta pesquisa, publicou no 14° SIEPE um artigo com título “AUTOSSUFICIÊNCIA DE UM ALIMENTADOR, UMA ÓPTICA PELA ENGENHARIA DE ENERGIA”. Contudo, a pesquisa elaborada para este trabalho representou uma quantidade maior de dados e sistemas que devem ser explícitos para a comunidade acadêmica, visando o desenvolvimento da sociedade e a contribuição em futuros trabalhos. Com isso, se faz necessário a publicação dos resultados deste trabalho em congressos e simpósios como SIEPE e demais eventos da área.

## 7. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

(2017) K. P. Schneider, B. A. Mather, B. C. Pal, C. W. Ten, G. J. Shirek, H. Zhu, J. C. Fuller, J. L. R. Pereira, L. F. Ochoa, L. R. de Araujo, R. C. Dugan, S. Matthias, S. Paudyal, T. E. McDermott, and W Kersting, “**Analytic Considerations and Design Basis for the IEEE Distribution Test Feeders,**” **IEEE Transactions on Power Systems**, vol. PP, no. 99, pp. 1-1, 2017.

ABAUQUE, **Visão Geral de Tecnologia e Mercado para os Sistemas de Armazenamento de Energia Elétrica no Brasil.** 2016.

ABGD. **Dados do Mercado.** Disponível em: <<https://www.abgd.com.br/portal/dados-mercado/>>. Acesso em: 30 de agosto de 2021.

**ABOUT PES.** Disponível em: <<https://www.ieee-pes.org/about-pes>>. Acesso em 11 de Setembro de 2021.

ABSOLAR. 2022. **Panorama da Solar Fotovoltaica no Brasil e no Mundo.** Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/mercado/infografico/>>. Acesso em: 28 de novembro de 2022.

ALTRAN, Alessandra Bonato. **Sistema inteligente para previsão de carga multinodal em sistemas elétricos de potência.** 2010.. 86 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2010. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/100304>>.

ALVARENGA, M. B; et al. **Proposta de Metodologia para Análise de Perdas em Alimentadores Considerando os Níveis de Tensão de Atendimento.** XVI Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica (SENDI). 2004.

ANDRADE, Vinicius B.; PAIXÃO JR., Ulisses C.; MOREIRA, Carlos E.; SOARES, Thiago M.; TABORA, Jonathan M.; TOSTES, Maria Emilia de L.; BEZERRA, Ubiratan H.; ALBUQUERQUE, Bruno S.; GOUVEIRA, Luciano da S. **Modelagem de um Sistema de Distribuição Real desbalanceado e análise do impacto da geração distribuída utilizando o software OpenDSS.** , [s. /], 13 fev. 2021.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução Normativa Nº 482, de 17 de Abril de 2012.** Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e

minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.

ANEEL. Caderno Temático. **Micro e Minigeração Distribuída. Sistema de Compensação de Energia Elétrica**. 2ª ed. Brasília, 2016.

ANEEL. **RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 842, de 18 de dezembro de 2018**. Aprova a revisão 10 do Módulo 1 dos Procedimentos de Distribuição (PRODIST).

Ashish Tewari. **Modern Control Design with MATLAB and SIMULINK**. JOHN WILEY & SONS, LTD. 2002.

AUGUSTO, Kaê. **Análise da Introdução de painéis fotovoltaicos em um alimentador real de distribuição de energia elétrica** / Kaê Augusto; orientador João Bosco Augusto . São Carlos, 2017.

BARBOSA, Ailson de Souza. **FLUXO DE POTÊNCIA EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO: APLICAÇÕES PRÁTICAS**. 1996. Dissertação, (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Faculdade Federal da Paraíba, [S. l.], 1995.

BARIONI DE OLIVEIRA, Carlos César; SCHMIDT, Hernán Pietro; KAGAN, Nelson; ROBBA, Ernesto João. **Introdução a Sistemas Elétricos de Potência: Componentes Simétricas**. 2. ed. [S. l.]: Edgard Blucher Ltda., 1996.

BARTUCCI, Maria J; **Aplicabilidade da Modelagem e Simulação Computacional para Projetos de Qualidade**. Disponível em: <<https://www.alicerceejr.com/post/aplicabilidade-da-modelagem-e-simula%C3%A7%C3%A3o-computacional-para-projetos-de-qualidade>>. Acesso em: 10 de setembro de 2021.

BATISTA, Adilson C; et. al; **Veículos Elétricos e Geração Distribuída em Sistema de Distribuição de Energia Elétrica**. Brazilian Technology Symposium. 2017.

**Brasil ultrapassa marca de 1 GW em geração distribuída**. Disponível em: <[https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset\\_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/brasil-ultrapassa-marca-de-1gw-em-geracao-distribuida/656877](https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/brasil-ultrapassa-marca-de-1gw-em-geracao-distribuida/656877)>. Acesso em: 23 de agosto de 2021.



BRASIL, **Decreto Nº 5.163, de 30 de julho de 2004**. Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências.

BRASIL, **Lei Nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022**. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as Leis nºs 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências.

BRASIL, **Lei Nº 9.074, de 7 de Julho de 1995**. Estabelece normas para outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos e dá outras providências.

BRASIL, **Projeto de Lei Nº 5829, de 2019**. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as Leis nºs 10.848m de 15 março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências.

BRASIL. **Portaria Nº 187, de 4 de Abril de 2019**. Considerando a busca, pelo Ministério de Minas e Energia, de melhores soluções que permitam a modernização do Setor Elétrico, fundamentada na governança, estabilidade jurídico-regulatória e na previsibilidade.

CAPUCHIM, Jonatas Endo. **ANÁLISE DOS IMPACTOS DA INSERÇÃO DE SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO COMPARTILHADO EM UMA REDE DE DISTRIBUIÇÃO**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade do Vale do Rio do Sinos - UNISINOS, [S. /], 2016.

CARNEIO, Marlon da Silva. **UTILIZAÇÃO DO SOFTWARE PARA CÁLCULO DAS PERDAS TÉCNICAS EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO / Marlon da Silva Carneiro**; orientação de Edison Antônio Cardoso Aranha Neto. - Florianópolis, SC, 2019.

CHIROLLO, Jackson. **Por que devemos apoiar o Projeto de Lei 5829?** 17 de junho de 2021.

Cunha, Lucas da Silva. **Estudo do comportamento de um sistema de distribuição de energia elétrica na presença de geração distribuída via OpenDSS / Lucas da Silva Cunha** ; orientador Eduardo Nobuhiro Asada. -- São Carlos, 2010.

da Cruz, Everton Pereira; et al . **Electrical Consumption Intelligent Control**. 2017

ELETROBRAS - CEPEL. 2018. **ANAFAS- Análise de Falhas Simultâneas**. Disponível em: <[http://www.cepel.br/pt\\_br/produtos/anafas-analise-de-faltas-simultaneas.htm](http://www.cepel.br/pt_br/produtos/anafas-analise-de-faltas-simultaneas.htm)>. Acesso em: 20 de setembro de 2021.

ELETROBRAS - CEPEL. 2018. **ANAREDE- Análise de Redes Elétricas**. Disponível em: <[http://www.cepel.br/pt\\_br/produtos/anarede-analise-de-redes-eletricas.htm](http://www.cepel.br/pt_br/produtos/anarede-analise-de-redes-eletricas.htm)>. Acesso em: 20 de setembro de 2021.

EMA, 2016. **Prioridades para a integração das fontes renováveis variáveis no sistema elétrico**. Publicado por: IEMA - Instituto de Energia e Meio Ambiente ([energiaeambiente.org.br](http://energiaeambiente.org.br)) - São Paulo, novembro de 2016.

ENA, 2021. **Smart Meters**. Disponível em: <<https://www.energynetworks.org/creating-tomorrows-networks/network-innovation/smart-meters>>. Acesso em: 08 de setembro de 2021.

EPE, 2019. **Modernização do Setor Elétrico**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/areas-de-atuacao/energia-eletrica/modernizacao-do-setor-eletrico>>. Acesso em: 09 de setembro de 2021.

EPE. N. **EPE-NT-098/2019-r0. Sistemas de Armazenamento em baterias: Aplicações e Questões Relevantes para o Planejamento**. 29 de novembro de 2019.

EPE. Nota de Discussão. **Recursos Energéticos Distribuídos: Impactos no Planejamento Energético**. Nº EPE-DEA-NT-016/2018-r0. Data: 11 de julho de 2018.

ESFERABLOG. **O que é o PNE 2050? Entenda a importância e as diretrizes do plano**. Disponível em: <<https://esferaenergia.com.br/blog/pne-2050/>>. Acesso em: 15 de setembro de 2021.

FALCÃO, M Djalma, **Smart Grids e Microredes: O Futuro já é Presente**. Simpósio de Automação de Sistemas Elétricos, Programa de Engenharia Elétrica, COPPE, UFRJ, 2013.

GARCIA, Enoque Dutra. **METODOLOGIA DE BLOCOS FUNCIONAIS COM PREVISÃO DE GRANDEZAS ELÉTRICAS PARA SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO**.

2018. TESE (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Maria, [S. l.], 2018.

**Geração distribuída alcança 5 GW de potência instalada.** Disponível em: <<https://canalsolar.com.br/geracao-distribuida-alcanca-5-gw-de-potencia-instalada/>>. Acesso em: 21 de agosto de 2021.

Gimenes, Thayana Knupp. **Influência de recursos energéticos distribuídos na qualidade de energia elétrica/ Thayana Knupp Gimenes**; orientador (a) , Oswaldo Hideo Ando Junior; coorientador (a) Jorge Javier Gimenez Ledesma, 2020.

GOUVÊA, Adriana R. **Uma visão estratégica do setor de distribuição de energia elétrica frente aos desafios da expansão de recursos energéticos distribuídos no Brasil / Adriana Ribeiro Gouvêa** - Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2019.

HOSENUZZAMAN, M.; RAHIM, N.A.; SELVARAJ, J.; HASANUZZAMAN, M.; MALEK, A.B.M.A.; NAHAR, A. **Global prospects, progress, policies, and environmental impact of solar photovoltaic power generation**, 2014.

IEA, 2015. ENERGY STORAGE TECHNOLOGY ROADMAP. International Energy Agency, France. Disponível em: [www.iea.org](http://www.iea.org)

**IEEE - RESOURCES.** Disponível em: <<https://site.ieee.org/pes-testfeeders/resources/>>. Acesso em: 11 de setembro de 2021.

INRIUFMS, 2020. **O promissor modelo de geração com RED.** Disponível em: <<https://inriufsm.com.br/geracao-distribuida/o-promissor-modelo-de-geracao-com-red/>>. Acesso em: 21 de setembro de 2021.

Kagan, Nelson. **Introdução nos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica / Nelson Kagan, Carlos César Barioni de Oliveira, Ernesto João Robba.** 1ª edição -- São Paulo: Blucher. 2005.

KERSTING, Introduction to Distribution Systems. **Distribution system modeling and analysis.** 3. ed. New Mexico: CRC Press, 2001.

LEMES, J. F. **Análise de Viabilidade de Implantação de Posto de Recarga de Veículos Elétricos com Abastecimento Fotovoltaico.** 65 p. Monografia (Trabalho de

Conclusão de Curso) - Faculdade de Engenharia, Universidade Federal da Grande Dourados, 2018.

MADRONA, 2021. **NOVA PORTARIA NORMATIVA DO MME DEFINE REGRAS PARA RVD.** Disponível em: <<https://www.madronalaw.com.br/artigo/portaria-normativa-22gmmme/>>. Acesso em: 18 de setembro de 2021.

MANSO, Luiz A. F; et al; **INCLUSÃO DA GERAÇÃO EÓLICA NO PROBLEMA DE FLUXO DE POTÊNCIA PROBABILÍSTICO.** Departamento de Energia Elétrica, Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ), 2020.

Notas de Aula. **Sistemas Elétricos de Potência - Notas de Aula.** Prof. Álvaro Augusto W. de Almeida. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

OLIVEIRA, Mario O; **Minicurso: Introdução ao Uso do ATP/EMTP.** National University of Misiones - UNaM, Argentina. Criciúma - SC, 16 de outubro de 2013.

PowerWorld Corporation. **SIMULATOR.** Disponível em: <<https://www.powerworld.com/products/simulator/overview>>. Acesso em: 20 de setembro de 2021.

RIANI, Leandro M. *et al.* **MODELO DE TRANSFORMADOR TRIFÁSICO DE DISTRIBUIÇÃO PARA ESTUDOS DE FLUXO DE POTÊNCIA E CURTO-CIRCUITO.** CBA, [s. l.], 15 set. 2008.

RODRIGUES, Márcio do C. B. P; et. al. **Conexão de veículos elétricos à rede de energia elétrica para recarga de baterias: uma visão geral.** Universidade Federal de Juiz de Fora, 2017.

ROLIM, Luiz. **Redes Inteligentes, Blockchain e Big Data nas Redes de Energia Elétrica do Futuro.** Novos Horizontes da Energia na Era Digital, FENERGIA, 2018.

SILVA, Daniel; COLORADO, Patry; GRILO, Ahda. **Estudo do Uso de Sistemas de Armazenamento Para Minimizar Problemas Relacionados à Tensão Devido à Integração Fotovoltaica em Sistemas de Distribuição.** CLAGTEE 2017, [s. l.], 16 maio 2017.

SILVA, Luís C; **Simulação de Processos. 2005.** Disponível em: <<http://www.agais.com/simula.htm>>. Acesso em: 11 de setembro de 2021.

SIMABUKULO, et al; **Energia, Industrialização e Modernidade - História Social**. 2006.

SIMON, Emanuel. C. **Avaliação de impactos da recarga de veículos elétricos em sistemas de distribuição / Emanuel Cella Simon**. - Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2013.

**SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA**. Disponível em: <<https://docs.google.com/document/d/1KzzkJkwahzkU8jvr2sUFjgBa8e0ko2UDYMf7ZVAR90E/edit>>. Acesso em: 15 de setembro de 2021.

SOUZA, Kauê J. F. N. C; et. al. **Geração distribuída com armazenamento conectado à rede elétrica**. VII Congresso Brasileiro de Energia Solar - Gramado, 17 a 20 de abril de 2018.

SOUZA, M. M. P. **Modelagem de Cargas para Estudos Dinâmicos**. 2010. 144 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2010.

TAVARES, Matheus J. dos Santos. **Análise do impacto da geração distribuída fotovoltaica com diferentes níveis de penetração em alimentadores de distribuição em média tensão utilizando OpenDSS / Matheus Jonathan dos Santos Tavares**. - 2018.

TELLES, Renato. **A efetividade da “matriz de amarração” de Mazzon nas pesquisas em Administração**. 2001.

TORQUATO, Ricardo; SALLES, Diogo; ANDRADE, José C. G.; MEIRA, Paulo C. M.; FREITAS, Walmir. **Método para análise de impactos da mobilidade elétrica em redes de distribuição e a respectiva aplicação em sistemas brasileiros**, [s. l.], 25 set. 2020.

VASCONCELOS, Filipe Matos de. **Geração, Transmissão e Distribuição de energia elétrica**. [S. l.]: Educational S.A., 2017.

WAENGA, Aline Fontes Cordeiro; PINTO, Dayana Araújo Ferreira. **Impactos da geração distribuída fotovoltaica no sistema de distribuição de energia elétrica**.

2016. 99 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

WANG, H. et. al. **Load Characteristics of Electric Vehicles in Charging and Discharging States and Impacts on Distribution Systems.** International Conference on Sustainable Power Generation and Supply (SUPERGEN2012), 8-9. Sept.2012.

Zanetta Júnior, Luiz Cera. **Fundamentos de sistemas elétricos de potência / Luiz Cera Zanetta Jr.** - 1. ed. - São Paulo : Editora Livraria de Física, 2005.

## 8. APÊNDICE

A figura 30 apresenta o cabeçalho do código, o circuito foi chamado de *ieee12\_WilliamM*, com base de tensão de 13.8 kV, o regulador utilizado foi o disponibilizado pelo arquivo. Este arquivo é o início de todos os três códigos principais utilizados para simulação: (i) sem GD, (ii) com GD e (iii) GD com armazenamento. As linhas de código também permanecem as mesmas do arquivo principal, com a alteração da unidade para Ohm/km.

Figura 30 - Cabeçalho dos códigos.

```
!Arquivo Principal
!Dados Discente
!Nome: William Martins | Matrícula: 161151189
!Universidade: Universidade Federal do Pampa
!Curso: Engenharia de Energia
!Orientador: Professor Doutor Enoque Dutra Garcia

!Iniciando o código e limpando todas as variáveis!
Clear

!===BARRAMENTOS===!

New object=circuit.ieee123_WilliamM
~ basekv=13.8 Bus1=150 pu=1.00 R1=0 X1=0.0001 R0=0 X0=0.0001

!=====REGULADORES TRIFÁSICOS=====!

New transformer.reg1a phases=3 windings=2 buses=[150 150r] conns=[wye wye] kvs=[13.8 13.8] kvas=[10000 10000] XHL=0.001 %LoadLoss=0.00001 ppm=0.0
New regcontrol.creg1a transformer=reg1a winding=2 vreg=120 band=2 ptratio=65.7 ctprim=700 R=3 X=5
New Line.Sw20 phases=3 Bus1=150 Bus=150r r1=1e-3 r0=1e-3 x1=0.000 x0=0.000 c1=0.000 c0=0.000 Length=0.001

!=====MATRIZES DE IMPEDÂNCIA E SUCEPTÂNCIA=====!

Redirect IEEELinecodes_km.DSS
```

Fonte: Autor,2023.

As linhas do sistema, também seguem as características originais do circuito teste com a modificação da unidade de medição para o comprimento das linhas, alteradas para quilômetro. Com a modificação da implementação de um medidor na subestação com o propósito da obtenção dos resultados principais deste trabalho, conforme figura 31.

Figura 31 - Linhas do sistema

```

!=====LINHAS DO SISTEMA=====!

New Line.L115 Phases=3 Bus1=149 Bus2=1 LineCode=1 Length=0.4

New energymeter.subestação element=line.L115 terminal=1

New Line.L1 Phases=1 Bus1=1.2 Bus2=2.2 LineCode=10 Length=1.4 unit=km
New Line.L2 Phases=1 Bus1=1.3 Bus2=3.3 LineCode=11 Length=2 unit=km
New Line.L3 Phases=3 Bus1=1.1.2.3 Bus2=7.1.2.3 LineCode=1 Length=2.4 unit=km
New Line.L4 Phases=1 Bus1=3.3 Bus2=4.3 LineCode=11 Length=1.6 unit=km
New Line.L5 Phases=1 Bus1=3.3 Bus2=5.3 LineCode=11 Length=2.6 unit=km
New Line.L6 Phases=1 Bus1=5.3 Bus2=6.3 LineCode=11 Length=2 unit=km

```

Fonte: Autor,2023.

Os outros parâmetros do circuito teste permaneceram com as configurações originais do IEEE 123 BARRAS, como seccionadoras NFs e NAs no sistema e Chave *Bypass*. A figura 32 apresenta as configurações do transformador e banco de capacitores. O transformador existente na rede de distribuição, foi alterado os níveis de tensão primária e secundária, passando para 13.8 kV na tensão primária e 480 V de tensão secundária. Os bancos de capacitores do sistema sofrem também alteração na tensão de alimentação, como há conectado 3 banco de capacitores monofásicos, estes serão conectados em tensão de fase de 7.967 Voltz.

Figura 32 - Dados do Transformador e Capacitores

```

!=====TRANSFORMADOR DO SISTEMA=====!

New Transformer.XFM1 Phases=3 Windings=2 Xhl=2.72
~ wdg=1 bus=61s conn=Delta kv=13.8 kva=150 %r=0.635
~ wdg=2 bus=610 conn=Delta kv=0.48 kva=150 %r=0.635

New Line.L1000 Phases=3 Bus1=61s Bus2=610 LineCode=1 length=0.001 unit=km
New energymeter.medidor element=Line.L1000 terminal=1

!=====CAPACITORES DO SISTEMA=====!

New Capacitor.C83 Bus1=83 Phases=3 kVAR=600 kV=13.8
New Capacitor.C88a Bus1=88.1 Phases=1 kVAR=50 kV=7.967
New Capacitor.C90b Bus=90.2 Phases=1 kVAR=50 kV=7.967
New Capacitor.C92c Bus=92.3 Phases=1 kVAR=50 kV=7.967

```

Fonte: Autor, 2023.

O modo *solve* (figura 33) foi utilizado na configuração *daily*, a configuração *number* foram feitas alterações para obtenção de resultados, para a simulação foi alterando em intervalos de um ponto para análise das horas do dia até fechar 24 horas.



Figura 33 - Modo Solve

```
! DETERMINANDO O MODO SOLVE
set LoadShapeClass=daily
set mode=daily stepsize=1.0h number=24
Solve
```

Fonte: Autor, 2023.

A segunda etapa a base de código demonstrada nas figuras anteriores deste anexo não foram alteradas, apenas foram acrescentadas as linhas de código necessárias para a conexão das fontes de geração distribuída no circuito teste. A figura 34 apresenta as usinas de geração conectadas no alimentador.

Figura 34 - Sistemas PVSystem conectados ao circuito teste.

```
New PVSystem.GD01 phases=3 bus=1.1.2.3 kV=13.8 kVA=300 Daily=irradiancia temperature=30 PF=1
New PVSystem.GD02 phases=3 bus=151.1.2.3 kV=13.8 kVA=300 Daily=irradiancia temperature=30 PF=1
New PVSystem.GD03 phases=3 bus=30.1.2.3 kV=13.8 kVA=300 Daily=irradiancia temperature=30 PF=1
New PVSystem.GD04 phases=3 bus=66.1.2.3 kV=13.8 kVA=300 Daily=irradiancia temperature=30 PF=1
New PVSystem.GD05 phases=3 bus=56.1.2.3 kV=13.8 kVA=300 Daily=irradiancia temperature=30 PF=1
New PVSystem.GD06 phases=3 bus=81.1.2.3 kV=13.8 kVA=300 Daily=irradiancia temperature=30 PF=1
New PVSystem.GD07 phases=3 bus=18.1.2.3 kV=13.8 kVA=300 Daily=irradiancia temperature=30 PF=1
New PVSystem.GD08 phases=3 bus=101.1.2.3 kV=13.8 kVA=3000 Daily=irradiancia temperature=30 PF=1
New PVSystem.GD09 phases=3 bus=79.1.2.3 kV=13.8 kVA=300 Daily=irradiancia temperature=30 PF=1
New PVSystem.GD10 phases=3 bus=13.1.2.3 kV=13.8 kVA=300 Daily=irradiancia temperature=30 PF=1
```

Fonte: Autor, 2023

Para a última parte da proposta, foram adicionados ao código os sistemas de armazenamento, estes foram conectados juntos às usinas e com capacidade de 20% da potência nominal das mesmas e neles conectados monitores para verificação de funcionamento correto. As configurações da função *storage* estão dispostas na figura 35.

Figura 35 - Sistema Storage conectado ao circuito teste.

**!ARMAZENAMENTO**

**New LoadShape.BATERIA npts=24 interval=1.0 mult=(file=armazenamento.csv)**  
**!Plot Loadshape Object=BATERIA**

**!New Storage.GD01 bus1=1.1.2.3 phases=3 kV=13.8 kWRated=60 kWhRated=100 kWhstored=100**  
**!New StorageController.GD01 element=line.L3 %reserve=80 ModeCharge=Loadshape ModeDischarge=Loadshape daily=bateria**  
**!New Monitor.BATERIA01 Element=Storage.GD01 terminal=1 mode=3**

**!New Storage.GD02 bus1=151.1.2.3 phases=3 kV=13.8 kWRated=60 kWhRated=100 kWhstored=100**  
**!New StorageController.GD02 element=line.L51 %reserve=80 ModeCharge=Loadshape ModeDischarge=Loadshape daily=bateria**  
**!New Monitor.BATERIA02 Element=Storage.GD01 terminal=1 mode=3**

**!New Storage.GD03 bus1=30.1.2.3 phases=3 kV=13.8 kWRated=60 kWhRated=100 kWhstored=100**  
**!New StorageController.GD03 element=line.L31 %reserve=80 ModeCharge=Loadshape ModeDischarge=Loadshape daily=bateria**  
**!New Monitor.BATERIA03 Element=Storage.GD01 terminal=1 mode=3**

**!New Storage.GD04 bus1=66.1.2.3 phases=3 kV=13.8 kWRated=60 kWhRated=100 kWhstored=100**  
**!New StorageController.GD04 element=line.L65 %reserve=80 ModeCharge=Loadshape ModeDischarge=Loadshape daily=bateria**  
**!New Monitor.BATERIA04 Element=Storage.GD01 terminal=1 mode=3**

**!New Storage.GD05 bus1=56.1.2.3 phases=3 kV=13.8 kWRated=60 kWhRated=100 kWhstored=100**  
**!New StorageController.GD05 element=line.L56 %reserve=80 ModeCharge=Loadshape ModeDischarge=Loadshape daily=bateria**  
**!New Monitor.BATERIA05 Element=Storage.GD01 terminal=1 mode=3**

**!New Storage.GD06 bus1=81.1.2.3 phases=3 kV=13.8 kWRated=60 kWhRated=100 kWhstored=100**  
**!New StorageController.GD06 element=line.L81 %reserve=80 ModeCharge=Loadshape ModeDischarge=Loadshape daily=bateria**  
**!New Monitor.BATERIA06 Element=Storage.GD01 terminal=1 mode=3**

**!New Storage.GD07 bus1=18.1.2.3 phases=3 kV=13.8 kWRated=60 kWhRated=100 kWhstored=100**  
**!New StorageController.GD07 element=line.L13 %reserve=80 ModeCharge=Loadshape ModeDischarge=Loadshape daily=bateria**  
**!New Monitor.BATERIA07 Element=Storage.GD01 terminal=1 mode=3**

**!New Storage.GD08 bus1=101.1.2.3 phases=3 kV=13.8 kWRated=60 kWhRated=100 kWhstored=100**  
**!New StorageController.GD08 element=line.L118 %reserve=80 ModeCharge=Loadshape ModeDischarge=Loadshape daily=bateria**  
**!New Monitor.BATERIA08 Element=Storage.GD01 terminal=1 mode=3**

**!New Storage.GD09 bus1=79.1.2.3 phases=3 kV=13.8 kWRated=60 kWhRated=100 kWhstored=100**  
**!New StorageController.GD09 element=line.L79 %reserve=80 ModeCharge=Loadshape ModeDischarge=Loadshape daily=bateria**  
**!New Monitor.BATERIA09 Element=Storage.GD01 terminal=1 mode=3**

**!New Storage.GD10 bus1=13.1.2.3 phases=3 kV=13.8 kWRated=60 kWhRated=100 kWhstored=100**  
**!New StorageController.GD10 element=line.L10 %reserve=80 ModeCharge=Loadshape ModeDischarge=Loadshape daily=bateria**  
**!New Monitor.BATERIA10 Element=Storage.GD01 terminal=1 mode=3**

Fonte: Autor, 2023.

Nesta parte serão apresentados os principais resultados obtidos durante o estudo e que serviram como base para as conclusões encontradas.

Tabela 2 - Análise do circuito sem GD

SEM GD						
Linha (GD)	Power Flow	if [A]	Vf [kV]	Vf [p.u.]	Losses	EnergyMeter [kWh]
L3 (01)	[1021,672 kW - j 641,990 kVAr]	[59,992 43,618 50,293]	[7,915 7,922 7,918]	[0,993 0,994 0,944]	[3,739 kW + j 6,103 kVAr]	23287
L51 (02)	[0,000 kW - j 2,832 kVAr]	[0,106 0,136 0,138]	[7,828 7,989 7,887]	[0,983 1,003 0,990]	[0,000 kW - j 2,873 kVAr]	0
L31 (03)	[8,721 kW - j 1,528 kVAr]	[0,161 0,138 1,091]	[7,844 8,007 7,885]	[0,985 1,005 0,990]	[0,001 kW - j 2,257 kVAr]	256
L65 (04)	[32,141 kW - j 12,174 kVAr]	[0,866 0,880 4,035]	[7,976 8,100 7,980]	[1,001 1,017 1,002]	[0,042 kW - j 20,923 kVAr]	680
L56 (05)	[8,561 kW + j 0,699 kVAr]	[0,076 1,094 0,069]	[7,909 8,053 7,973]	[0,993 1,011 1,001]	[0,001 kW - j 1,801 kVAr]	181
L81 (06)	[37,761 kW - j 621,761 kVAr]	[25,906 25,910 25,292]	[8,123 8,062 8,084]	[1,020 1,012 1,015]	[1,428 kW - j 0,287 kVAr]	871
L13 (07)	[268,258 kW + j 45,092 kVAr]	[17,211 8,260 8,865]	[7,891 7,995 7,928]	[0,990 1,004 0,995]	[0,604 kW - j 4,123 kVAr]	6239
L118 (08)	[105,335 kW + j 2,449 kVAr]	[5,839 3,188 4,206]	[7,994 7,949 7,986]	[1,003 0,998 1,002]	[0,025 kW - j 1,591 kVAr]	2396
L79 (09)	[12,016 kW + j 2,835 kVAr]	[1,569 0,057 0,068]	[8,082 8,024 8,054]	[1,014 1,007 1,011]	[0,001 kW - j 1,506 kVAr]	247
L10 (10)	[974,969 kW - j 661,368 kVAr]	[56,261 43,165 50,124]	[7,897 7,970 7,924]	[0,991 1,000 0,995]	[3,490 kW + j 5,505 kVAr]	22135
<b>SUBESTAÇÃO</b>						<b>24469</b>

Fonte: Autor, 2023.

Tabela 3 - Circuito com 20% de GD em 24 horas

20% GD						
Linha (GD)	Power Flow	if [A]	Vf [kV]	Vf [p.u.]	Losses	EnergyMeter [kWh]
L3 (01)	[720,668 kW - j 651,863 kVAr]	[48,764 35,485 40,755]	[7,918 7,924 7,919]	[0,994 0,995 0,994]	[2,492 kW + j 3,494 kVAr]	20578
L51 (02)	[-299,641 kW - j 2,193 kVAr]	[12,586 12,449 12,543]	[7,914 8,055 7,954]	[0,993 1,011 0,998]	[0,358 kW - j 2,193 kVAr]	-2686
L31 (03)	[8,721 kW - j 1,559 kVAr]	[0,162 0,138 1,085]	[7,882 8,034 7,922]	[0,989 1,008 0,994]	[0,001 kW - j 2,277 kVAr]	256
L65 (04)	[32,142 kW - j 12,271 kVAr]	[0,869 0,881 4,026]	[8,002 8,113 7,996]	[1,004 1,018 1,004]	[0,042 kW - j 21,020 kVAr]	680
L56 (05)	[8,561 kW + j 0,691 kVAr]	[0,076 1,092 0,069]	[7,934 8,066 7,989]	[0,996 1,012 1,003]	[0,001 kW - j 1,809 kVAr]	181
L81 (06)	[37,775 kW - j 624,716 kVAr]	[25,944 25,952 25,347]	[8,150 8,075 8,101]	[1,023 1,014 1,017]	[1,435 kW - j 0,288 kVAr]	871
L13 (07)	[-30,287 kW + j 46,114 kVAr]	[5,321 4,515 3,944]	[7,916 8,008 7,944]	[0,994 1,005 0,997]	[0,124 kW - j 5,083 kVAr]	3559
L118 (08)	[105,411 kW + j 2,380 kVAr]	[5,829 3,183 4,198]	[8,021 7,962 8,002]	[1,007 0,999 1,004]	[0,024 kW - j 1,599 kVAr]	2396
L79 (09)	[12,096 kW + j 2,857 kVAr]	[1,574 0,057 0,068]	[8,108 8,037 8,071]	[1,018 1,009 1,013]	[0,001 kW - j 1,531 kVAr]	247
L10 (10)	[676 kW - j 666,859 kVAr]	[45,420 35,126 40,660]	[7,913 7,979 7,934]	[0,993 1,001 0,996]	[2,304 kW + j 3,023 kVAr]	19449
<b>SUBESTAÇÃO</b>						19067

Fonte: Autor, 2023.

Tabela 4 - Circuito com 40% de GD em 24 horas

40% GD						
Linha (GD)	Power Flow	if [A]	Vf [kV]	Vf [p.u.]	Losses	EnergyMeter [kWh]
L3 (01)	[120,578 kW - j 668,657 kVAr]	[30,013 30,412 29,871]	[7,921 7,925 7,921]	[0,994 0,995 0,994]	[1,318kW + j 0,994 kVAr]	15175
L51 (02)	[-299,645 kW - j 2,237 kVAr]	[12,496 12,390 12,463]	[7,971 8,094 8,005]	[1,000 1,016 1,005]	[0,354 kW - j 2,237 kVAr]	-2686
L31 (03)	[-291,0,43 kW - j 1,115 kVAr]	[12,542 12,338 11,412]	[7,959 8,094 8,006]	[0,999 1,016 1,005]	[0,235 kW - j 1,845 kVAr]	-2431
L65 (04)	[-267,253 kW - j 12,810 kVAr]	[12,253 12,119 8,345]	[8,159 8,253 8,129]	[1,024 1,036 1,020]	[0,615 kW - j 21,559 kVAr]	-2005
L56 (05)	[8,561 kW + j 0,669 kVAr]	[0,077 1,087 0,070]	[7,996 8,105 8,033]	[1,004 1,017 1,008]	[0,001 kW - j 1,831 kVAr]	-181
L81 (06)	[37,788 kW - 627,645 kVAr]	[25,913 26,172 25,389]	[8,125 8,144 8,113]	[1,020 1,022 1,018]	[1,441 kW - j 0,288 kVAr]	871
L13 (07)	[-327,684 kW + j 49,067 kVAr]	[8,810 16,620 16,278]	[7,960 8,035 7,975]	[0,999 1,008 1,001]	[0,815 kW - j 3,671 kVAr]	891
L118 (08)	[105,344 kW + j 2,300 kVAr]	[5,837 3,156 4,193]	[7,998 8,029 8,014]	[1,004 1,008 1,006]	[0,024 kW - j 1,607 kVAr]	2396
L79 (09)	[12,024 kW j 2,825 kVAr]	[1,569 0,057 0,068]	[8,084 8,105 8,083]	[1,015 1,017 1,015]	[0,001 kW - j 1,519 kVAr]	247
L10 (10)	[77,917 kW - j 679,532 kVAr]	[28,567 30,446 29,746]	[7,942 7,996 7,995]	[0,997 1,004 0,998]	[1,246 kW + j 0,763 kVAr]	14071
<b>SUBESTAÇÃO</b>						13662

Fonte: Autor, 2023.

Tabela 5- Circuito com 60% de GD em 24 horas

60% GD						
Linha (GD)	Power Flow	if [A]	Vf [kV]	Vf [p.u.]	Losses	EnergyMeter [kWh]
L3 (01)	[-476,433 kW - j 672,035 kVAr]	[26,608 42,123 37,072]	[7,924 7,927 7,923]	[0,994 0,995 0,994]	[1,840 kW + j 1,982 kVAr]	9786
L51 (02)	[-299,649 kW - j 2,265 kVAr]	[12,426 12,353 12,419]	[8,016 8,118 8,033]	[1,006 1,019 1,008]	[0,351 kW - j 2,265 kVAr]	-2686
L31 (03)	[-291,047 kW + j 1,189 kVAr]	[12,473 12,301 11,372]	[8,004 8,118 8,035]	[1,005 1,019 1,008]	[0,233 kW - j 1,869 kVAr]	-2431
L65 (04)	[-267,297 kW - j 13,244 kVAr]	[12,106 12,018 8,275]	[8,260 8,323 8,199]	[1,037 1,045 1,029]	[0,603 kW - j 21,994 kVAr]	-2005
L56 (05)	[291,259 kW + j 1,009 kVAr]	[12,369 11,207 12,347]	[8,086 8,153 8,091]	[1,015 1,023 1,016]	[0,180 kW - j 1,491 kVAr]	-2506
L81 (06)	[261,951 kW - j 630,310 kVAr]	[28,239 28,896 26,789]	[8,150 8,149 8,118]	[1,023 1,023 1,019]	[1,593 kW + j 0,222 kVAr]	-1815
L13 (07)	[-326,838 kW + j 48,973 kVAr]	[8,690 16,545 16,214]	[8,006 8,059 8,004]	[1,005 1,011 1,005]	[0,807 kW - j 3,732 kVAr]	898
L118 (08)	[105,354 kW + j 2,374 kVAr]	[5,836 3,167 4,206]	[8,001 8,002 7,989]	[1,004 1,004 1,003]	[0,024 kW - j 1,599 kVAr]	2396
L79 (09)	[12,078 kW + j 2,844 kVAr]	[1,573 0,057 0,068]	[8,103 8,100 8,077]	[1,017 1,017 1,014]	[0,001 kW - j 1,520 kVAr]	247
L10 (10)	[-519,872 kW - j 684,544 kVAr]	[29,161 42,473 36,977]	[7,972 8,011 7,973]	[1,001 1,005 1,001]	[1,885 kW + j 1,993 kVAr]	8688
<b>SUBESTAÇÃO</b>						<b>8275</b>

Fonte: Autor, 2023.

Tabela 6 - Circuito com 80% de GD em 24 horas

80% GD						
Linha (GD)	Power Flow	if [A]	Vf [kV]	Vf [p.u.]	Losses	EnergyMeter [kWh]
L3 (01)	[-770,709 kW - j 666,922 kVAr]	[32,630 51,363 45,392]	[7,925 7,927 7,924]	[0,995 0,995 0,995]	[2,712kW + j 3,733 kVAr]	7133
L51 (02)	[-299,652 kW - j 2,293 kVAr]	[12,373 12,316 12,368]	[8,050 8,143 8,066]	[1,010 1,022 1,012]	[0,348 kW - j 2,293 kVAr]	-2686
L31 (03)	[-291,049 kW - j 1,221 kVAr]	[12,419 12,263 11,325]	[8,038 8,143 8,068]	[1,009 1,022 1,013]	[0,231 kW - j 1,890 kVAr]	-2431
L65 (04)	[-257,299 kW - j 13,330 kVAr]	[12,074 12,001 8,261]	[8,282 8,335 8,212]	[1,039 1,046 1,031]	[0,600 kW - j 22,080 kVAr]	-2005
L56 (05)	[-291,260 kW + j 1,000 kVAr]	[12,335 11,190 12,327]	[8,108 8,165 8,104]	[1,018 1,025 1,017]	[0,180 kW - 1,500 kVAr]	-2506
L81 (06)	[-261,294 kW - j 632,794 kVAr]	[28,294 28,922 26,826]	[8,172 8,160 8,131]	[1,026 1,024 1,021]	[1,698 kW + j 0,218 kVAr]	-1815
L13 (07)	[624,388 kW + j 52,673 kVAr]	[20,711 28,763 28,541]	[8,027 8,071 8,017]	[1,008 1,013 1,006]	[2,632 kW + j 0,028 kVAr]	-1772
L118 (08)	[105,417 kW + j 2,316 kVAr]	[5,828 3,162 4,199]	[8,023 8,013 8,002]	[1,007 1,006 1,004]	[0,024 kW- j 1,606 kVAr]	2396
L79 (09)	[12,145 kW + j 2,862 kVAr]	[1,577 0,057 0,068]	[8,125 8,111 8,090]	[1,020 1,018 1,015]	[0,001 kW - j 1,526 kVAr]	248
L10 (10)	[-815,677 kW - j 682,373 kVAr]	[36,308 51,781 45,319]	[7,986 8,019 7,982]	[1,002 1,006 1,002]	[2,814 kW + j 3,862 kVAr]	6028
<b>SUBESTAÇÃO</b>						5622

Fonte: Autor, 2023

Tabela 7 - Circuito sem GD até as 19 horas

SEM GD as 19hrs						
EnergyMeter [kWh]	Linha (GD)	Power Flow	if [A]	Vf [kV]	Vf [p.u.]	Losses
		[1456,983				[5,800
	L3	kW - j	[76,000	[7,912	[0,993	kW + j
	(01)	422,779	56,800	7,919	0,994	10,298
19884		kVAr]	59,522]	7,915]	0,993]	kVAr]
						[0,000
	L51		[0,105	[7,744	[0,972	kW - j
	(02)	[0,000 kW - j	0,134	7,891	0,990	2,814
0		2,814 kVAr]	0,137]	7,839]	0,984]	kVAr]
						[0,010
	L31	[27,810 kW	[0,160	[7,782	[0,977	kW - j
	(03)	+ j 3,372	0,137	7,936	0,996	2,198
202		kVAr]	3,484]	7,822]	0,982]	kVAr]
						[0,040
	L65	[31,015 kW -	[0,852	[7,845	[0,985	kW - j
	(04)	j 11,998	0,866	7,972	1,001	20,397
606		kVAr]	3,915]	7,933]	0,996]	kVAr]
						[0,001
	L56		[0,075	[7,814	[0,981	kW - j
	(05)	[8,261 kW +	1,065	7,977	1,001	1,770
161		0,630 kVAr]	0,069]	7,936]	0,996]	kVAr]
						[1,396
	L81	[56,108 kW -	[25,450	[8,110	[1,018	kW - j
	(06)	j 612,260	25,879	8,050	1,010	0,368
735		kVAr]	24,868]	8,095]	1,016]	kVAr]
						[1,407
	L13	[422,443 kW	[24,422	[7,829	[0,983	kW - j
	(07)	+ j 117,252	15,300	7,947	0,997	2,435
5272		kVAr]	15,986]	7,900]	0,992]	kVAr]
						[0,049
	L118	[149,292 kW	[8,135	[8,005	[1,005	kW - j
	(08)	+ j 15,930	5,384	7,958	0,999	1,540
2054		kVAr]	5,330]	7,985]	1,002]	kVAr]
						[0,002
	L79	[12,402 kW	[1,739	[8,074	[1,013	kW - j
	(09)	+ j 5,457	0,057	8,013	1,006	1,503
212		kVAr]	0,068]	8,065]	1,012]	kVAr]
						[5,199
	L10	kW - j	[68,683	[7,854	[0,986	kW + j
	(10)	459,718	55,292	7,939	0,996	8,931
18917		kVAr]	59,500]	7,905]	0,992]	kVAr]
20891	<b>SUBESTAÇÃO</b>					

Fonte: Autor, 2023



Tabela 8 - Circuito com 20% + armazenamento de GD até as 19 horas

20% GD + armazenamento as 19hrs						
EnergyMeter [kWh]	Linha (GD)	Power Flow	if [A]	Vf [kV]	Vf [p.u.]	Losses
		[1457,615				[5,805
	L3	kW - j	[76,029	[7,912	[0,993	kW + j
	(01)	422,724	56,821	7,919	0,994	10,307
17063		kVAr]	59,576]	7,915]	0,993]	kVAr]
						[0,000
	L51		[0,115	[7,744	[0,972	kW - j
	(02)	[0,600 kW - j	0,127	7,891	0,990	2,814
-2795		2,814 kVAr]	0,143]	7,839]	0,984]	kVAr]
						[0,010
	L31	[26,810 kW	[0,160	[7,782	[0,977	kW - j
	(03)	+ j 3,372	0,137	7,936	0,996	2,198
202		kVAr]	3,484]	7,822]	0,9822]	kVAr]
						[0,040
	L65	[31,016 kW	[0,852	[7,845	[0,985	kW - j
	(04)	- j 11,997	0,866	7,972	1,001	20,397
606		kVAr]	3,915]	7,933]	0,996]	kVAr]
						[0,001
	L56	[8,260 kW +	[0,075	[7,814	[0,981	kW - j
	(05)	j 0,630	1,065	7,977	1,001	1,770
161		kVAr]	0,069]	7,936]	0,996]	kVAr]
						[1,396
	L81	[56,112 kW	[25,449	[8,110	[1,018	kW - j
	(06)	- j 612,251	25,880	8,050	1,010	0,368
735		kVAr]	24,868]	8,095]	1,016]	kVAr]
						[1,410
	L13	[423,052 kW	[24,448	[7,829	[0,983	kW - j
	(07)	+ j 117,267	15,323	7,947	0,997	2,428
2482		kVAr]	16,011]	7,900]	0,992]	kVAr]
						[0,049
	L118		[8,136	[8,005	[1,005	kW - j
	(08)	[149,293 kW	5,383	7,958	0,999	1,540
2054		+ j 15,931]	5,331]	7,985]	1,002]	kVAr]
						[0,002
	L79	[12,402 kW	[1,739	[8,074	[1,013	kW - j
	(09)	+ j 5,457	0,057	8,013	1,006	1,503
212		kVAr]	0,068]	8,065]	1,012]	kVAr]
		[1371,968				
	L10	kW - j	[68,711	[7,854	[0,986	[5,192kW
	(10)	459,679	55,313	7,939	0,996	+ j 8,940
16120		kVAr]	59,524]	7,905]	0,992]	kVAr]
15267	<b>SUBESTAÇÃO</b>					

Fonte: Autor, 2023.

Tabela 9 - Circuito com 40% + armazenamento de GD até as 19 horas

40% GD + armazenamento as 19hrs						
EnergyMeter [kWh]	Linha (GD)	Power Flow	if [A]	Vf [kV]	Vf [p.u.]	Losses
		[1458,547				[5,804
	L3	kW - j	[75,910	[7,912	[0,993	kW + j
11434	(01)	419,341	56,910	7,919	0,994	10,311
		kVAr]	59,639]	7,915]	0,993]	kVAr]
						[0,000
	L51		[0,115	[7,742	[0,972	kW - j
-2795	(02)	[0,600 kW - j	0,127	7,890	0,990	2,813
		2,813 kVAr]	0,143]	7,840]	0,984]	kVAr]
	L31	[27,409 kW	[0,164	[7,780	[0,976	[0,10 kW
-2594	(03)	+ j 3,373	0,141	7,936	0,996	- j 2,198
		kVAr]	3,509]	7,822]	0,982]	kVAr]
						[0,040
	L65	[31,615 kW -	[0,852	[7,840	[0,984	kW - j
-2188	(04)	j 11,990	0,866	7,971	1,000	20,389
		kVAr]	3,939]	7,936]	0,996]	kVAr]
						[0,001
	L56		[0,075	[7,810	[0,980	kW - j
161	(05)	[8,260 kW +	1,065	7,976	1,001	1,770
		j 0,630 kVAr]	0,069]	7,937]	0,996]	kVAr]
						[1,389
	L81	[56,09 kW - j	[25,264	[8,053	[1,011	kW - j
735	(06)	609,441	25,878	8,049	1,010	0,368
		kVAr]	24,880]	8,099]	1,016]	kVAr]
						[1,414
	L13	[423,614 kW	[24,473	[7,827	[0,982	kW - j
-295	(07)	+ j 117,267	15,348	7,947	0,997	2,421
		kVAr]	16,034]	7,901]	0,992]	kVAr]
						[0,049
	L118	[148,881 kW	[8,141	[7,949	[0,998	kW - j
2054	(08)	+ j 15,907	5,383	7,958	0,999	1,534
		kVAr]	5,329]	7,988]	1,003]	kVAr]
						[0,002
	L79	[12,229 kW	[1,727	[8,017	[1,006	kW -
212	(09)	+ j 5,367	0,057	8,012	1,006	j1,496
		kVAr]	0,068]	8,068]	1,013]	kVAr]
						[5,191
	L10	[1372,907 - j	[68,571	[7,852	[0,986	kW + j
10519	(10)	456,301	55,401	7,939	0,996	8,942
		kVAr]	59,587]	7,906]	0,992]	kVAr]
9636	<b>SUBESTAÇÃO</b>					

Fonte: Autor, 2023.

Tabela 10 - Circuito com 60% + armazenamento de GD até as 19 horas

60% GD + ARMAZENAMENTO AS 19hrs						
EnergyMeter [kWh]	Linha (GD)	Power Flow	if [A]	Vf [kV]	Vf [p.u.]	Losses
		[1459,149				[5,808
	L3	kW - j	[75,935	[7,912	[0,993	kW + j
	(01)	419,291	56,933	7,919	0,994	10,320
5823		kVAr]	59,663]	7,915]	0,993]	kVAr]
						[0,000
	L51		[0,115	[7,742	[0,972	kW - j
	(02)	[0,600 kW - j	0,127	7,890	0,990	2,813
-2795		2,813 kVAr]	0,143]	7,840]	0,,984]	kVAr]
						[0,010
	L31	[27,490 kW	[0,164	[7,780	[0,976	kW - j
	(03)	+ j 3,373	0,141	7,936	0,996	2,198
-2594		kVAr]	3,509]	7,822]	0,982]	kVAr]
						[0,040
	L65	[31,612 kW -	[0,852	[7,839	[0,984	kW - j
	(04)	j 11,990	0,866	7,971	1,000	20,388
-2188		kVAr]	3,938]	7,936]	0,996]	kVAr]
						[0,001
	L56	[8,861 kW +	[0,076	[7,810	[0,980	kW - j
	(05)	j 0,630	1,089	7,976	1,001	1,770
-2635		kVAr]	0,075]	7,937]	0,996]	kVAr]
						[1,389
	L81	[56,692 kW -	[25,266	[8,053	[1,011	kW - j
	(06)	j 609,397	25,877	8,049	1,010	0,368
-2060		kVAr]	24,883]	8,098]	1,016]	kVAr]
						[1,414
	L13	[423,613 kW	[24,473	[7,827	[0,982	kW - j
	(07)	+ j 117,267	15,348	7,947	0,997	2,421
-287		kVAr]	16,034]	7,901]	0,992]	kVAr]
						[0,049
	L118	[148,881 kW	[8,141	[7,949	[0,998	kW - j
	(08)	+ j 15,907	5,384	7,957	0,999	1,534
2054		kVAr]	5,329]	7,988]	1,003]	kVAr]
						[0,002
	L79	[12,228 kW	[1,727	[8,017	[1,006	kW - j
	(09)	+ j 5,366	0,057	8,012	1,006	1,496
213		kVAr]	0,068]	8,068]	1,013]	kVAr]
						[5,195
	L10	kW - j	[68,596	[7,852	[0,986	kW + j
	(10)	456,265	55,424	7,939	0,996	8,950
4916		kVAr]	59,611]	7,906]	0,992]	kVAr]
4026	<b>SUBESTAÇÃO</b>					

Fonte: Autor, 2023.

Tabela 11 - Circuito com 80% + armazenamento de GD até as 19 horas

80% GD + ARMAZENAMENTO AS 19hrs						
EnergyMeter [kWh]	Linha (GD)	Power Flow	if [A]	Vf [kV]	Vf [p.u.]	Losses
		[1459,485				[5,807
	L3	kW - j	[76,001	[7,912	[0,993	kW + j
	(01)	415,889	56,972	7,919	0,994	10,317
2940		kVAr]	59,455]	7,915]	0,993]	kVAr]
						[0,000
	L51		[0,115	[7,741	[0,972	kW - j
	(02)	[0,600 kW - j	0,127	7,891	0,990	2,813
-2795		2,813 kVAr]	0,143]	7,838]	0,984]	kVAr]
						[0,010
	L31	[27,409 kW	[0,164	[7,779	[0,976	kW - j
	(03)	+ j 3,373	0,141	7,936	0,996	2,197
-2594		kVAr]	3,510]	7,820]	0,982]	kVAr]
						[0,040
	L65	[31,613 kW -	[0,852	[7,839	[0,984	kW - j
	(04)	j 11,984	0,866	7,974	1,001	20,382
-2188		kVAr]	3,941]	7,930]	0,995]	kVAr]
						[0,001
	L56		[0,076	[7,810	[0,980	kW - j
	(05)	[8,861 kW +	1,089	7,978	1,001	1,769
-2635		j 0,630 kVAr]	0,075]	7,934]	0,996]	kVAr]
						[1,383
	L81	[56,684 - j	[25,264	[8,052	[1,011	kW - j
	(06)	606,534	25,890	8,052	1,011	0,363
-2060		kVAr]	24,688]	8,040]	1,009]	kVAr]
						[1,417
	L13	[424,217 kW	[24,499	[7,826	[0,982	kW - j
	(07)	+ j 117,278	15,371	7,947	0,997	2,413
-3066		kVAr]	16,062]	7,899]	0,991]	kVAr]
						[0,049
	L118	[149,478 kW	[8,165	[7,948	[0,998	kW - j
	(08)	+ j 15,992	5,408	7,960	0,999	1,525
1944		kVAr]	5,392]	7,932]	0,996]	kVAr]
						[0,002
	L79	[12,226 kW	[1,727	[8,016	[1,006	kW - j
	(09)	+ j 5,372	0,057	8,015	1,006	1,489
213		kVAr]	0,067]	8,010]	1,005]	kVAr]
		[1373,840				[5,192
	L10	kW - j	[68,660	[7,852	[0,986	kW + j
	(10)	452,858	55,463	7,939	0,996	8,943
2028		kVAr]	59,403]	7,905]	0,992]	kVAr]
1143	<b>SUBESTAÇÃO</b>					

Fonte: Autor, 2023.

Tabela 12 - Circuito com 100% + armazenamento de GD até as 19 horas

100% GD + ARMAZENAMENTO as 19hrs						
EnergyMeter [kWh]	Linha (GD)	Power Flow	if [A]	Vf [kV]	Vf [p.u.]	Losses
-2580	L3 (01)	[1460,712 kW - j 415,761 kVAr]	[76,051 57,019 59,501]	[7,912 7,919 7,915]	[0,993 0,994 0,993]	[5,816 kW + j 10,335 kVAr]
-2795	L51 (02)	[0,600 kW - j 2,813 kVAr]	[0,115 0,127 0,143]	[7,741 7,891 7,838]	[0,972 0,990 0,984]	[0,000 kW - j 2,813 kVAr]
-2594	L31 (03)	[27,409 kW + j 3,373 kVAr]	[0,164 0,141 3,510]	[7,779 7,936 7,820]	[0,976 0,996 0,982]	[0,010 kW - j 2,197 kVAr]
-2188	L65 (04)	[31,613 kW - j 11,983 kVAr]	[0,852 0,866 3,941]	[7,838 7,974 7,930]	[0,984 1,001 0,995]	[0,040 kW - j 20,381 kVAr]
-2635	L56 (05)	[8,861 kW + j 0,631 kVAr]	[0,076 1,089 0,075]	[7,810 7,978 7,933]	[0,98 1,001 0,996]	[0,001 kW - j 1,769 kVAr]
-2060	L81 (06)	[31,402 kW - j 606,499 kVAr]	[25,263 25,889 24,687]	[8,052 8,052 8,040]	[1,011 1,011 1,009]	[1,383 kW - j 0,363 kVAr]
-3059	L13 (07)	[424,214 kW + j 117,278 kVAr]	[24,499 15,371 16,062]	[24,499 15,371 16,062]	[0,982 0,997 0,991]	[1,417 kW - j 2,413 kVAr]
1945	L118 (08)	[149,477 kW + j 15,993 kVAr]	[8,165 5,408 5,392]	[7,948 7,960 7,931]	[0,998 0,999 0,995]	[0,049 kW - j 1,524 kVAr]
-2583	L79 (09)	[12,826 kW + j 5,372 kVAr]	[1,749 0,060 0,070]	[8,016 8,015 8,010]	[1,006 1,006 1,005]	[0,002 kW - j 1,489 kVAr]
-3517	L10 (10)	[1375,054 kW - j 452,759 kVAr]	[68,709 55,510 59,450]	[7,852 7,939 7,905]	[0,986 0,996 0,992]	[5,200 kW + j 8,959 kVAr]
-4374	<b>SUBESTAÇÃO</b>					

Fonte: Autor, 2023.