

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA  
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**GERAÇÃO DISTRIBUÍDA: LEGISLAÇÃO  
BRASILEIRA, PERSPECTIVAS  
E ESTUDOS DE CASOS VIA ATP**

**JAQUELINE OLIVEIRA REZENDE**

**Uberlândia  
2015**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

R467g  
2015      Rezende, Jaqueline Oliveira, 1990-  
            Geração distribuída: legislação brasileira, perspectivas e estudos de  
            casos via ATP / Jaqueline Oliveira Rezende. - 2015.  
            131 f. : il.

            Orientador: Geraldo Caixeta Guimarães.  
            Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,  
            Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica.  
            Inclui bibliografia.

            1. Engenharia elétrica - Teses. 2. Energia elétrica - Distribuição -  
            Teses. I. Guimarães, Geraldo Caixeta, 1954- II. Universidade Federal de  
            Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. III.  
            Título.

---

CDU: 621.3

**JAQUELINE OLIVEIRA REZENDE**

**GERAÇÃO DISTRIBUÍDA: LEGISLAÇÃO  
BRASILEIRA, PERSPECTIVAS  
E ESTUDOS DE CASOS VIA ATP**

**Dissertação de mestrado submetida à  
Universidade Federal de Uberlândia por  
Jaqueline Oliveira Rezende como parte dos  
requisitos necessários para a obtenção do título  
de Mestre em Ciências.**

**Banca Examinadora:**

**Geraldo Caixeta Guimarães, Ph.D. (Orientador) - UFU**

**Adélio José de Moraes, Dr. - UFU**

**Marcelo Lynce Ribeiro Chaves, Dr. - UFU**

**Antônio César Baleeiro Alves, Dr. - UFG**

**Daniel Araújo Caixeta, Dr. - PITÁGORAS**

---

**Geraldo Caixeta Guimarães, Ph.D.**  
**Orientador**

---

**Edgard Afonso Lamounier Júnior, Ph.D.**  
**Coordenador do Curso de Pós-Graduação**

**Uberlândia  
2015**

*Dedico este trabalho aos meus pais Ézio e Izildete pelo carinho, amor, apoio e pelas palavras sábias, os quais foram essenciais para a minha formação e o desenvolvimento desta dissertação.*

# AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a **Deus** pelo dom da vida, pelo conhecimento e por sempre me abençoar na busca dos meus objetivos, permitindo que eu realize todos os meus sonhos. Também agradeço à Deus por sempre me dar forças para vencer os obstáculos e nunca desistir dos meus sonhos.

Agradeço de forma muito especial e com admiração aos meus pais **Ézio Parreira de Rezende** e **Izildete Carlos de Oliveira Rezende** pelo amor, paciência e incentivos nos momentos difíceis e pelas palavras iluminadas que sempre me incentivaram a realizar os meus sonhos. Também os agradeço pela compreensão da minha ausência em muitos momentos, nos quais eu estava me dedicando aos estudos.

Agradeço enormemente ao meu irmão **Paulo Henrique Oliveira Rezende** por ser sempre o meu exemplo de dedicação, esforço e conhecimento. Agradeço-o pelas conversas que muitas vezes me ajudava a seguir em frente, enfrentar as dificuldades e nunca desistir.

À toda a minha família e amigos, em especial aos meus avós **Hélcio José de Rezende**, **Nilza Parreira de Rezende**, **Aristonides de Oliveira** e **Dinamar Carlos de Oliveira** pelo apoio e compreensão nos momentos de ausência.

De forma especial, agradeço ao meu orientador Professor **Geraldo Caixeta Guimarães**, pela orientação, paciência, conhecimentos transmitidos e pela dedicação no desenvolvimento desta dissertação. Também agradeço aos professores **Adélio José de Moraes** e **Marcelo Lynce Ribeiro Chaves** pelo apoio e dedicação.

Aos meus colegas do laboratório de Dinâmica de Sistemas Elétricos da Universidade Federal de Uberlândia **André Roger Rodrigues**, **Larissa Marques Peres** e **Márcio Augusto Tamashiro** pela amizade, companheirismo e apoio durante o período de realização do mestrado.

À **CAPES** (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo apoio financeiro.

*Aquele que habita no esconderijo do Altíssimo, à sombra do Onipotente descansará.  
Direi do Senhor: Ele é o meu Deus, o meu refúgio, a minha fortaleza, e nele confiarei.*

*Salmo 91, 1-2*

# RESUMO

---

## **GERAÇÃO DISTRIBUÍDA: LEGISLAÇÃO BRASILEIRA, PERSPECTIVAS E ESTUDOS DE CASOS VIA ATP**

A preocupação constante em atender à crescente demanda de energia elétrica tem proporcionado várias pesquisas em diversas áreas com a finalidade de obtenção de novas formas de geração de energia elétrica. Neste contexto, a geração distribuída tem se apresentado como uma fonte promissora de eletricidade localizada próxima do consumidor. Dessa forma, este trabalho possui como principal objetivo analisar os incentivos regulatórios para a utilização da geração distribuída no Brasil, apresentar de forma clara a legislação nacional vigente desse setor, relatar as perspectivas futuras para regular esse tipo de geração e avaliar as contribuições de uma unidade de geração distribuída conectada a um alimentador de distribuição.

Inicialmente, são abordadas as várias denominações e definições destinadas a geração distribuída, assim como conceitos e diferenças entre geração centralizada e geração distribuída. Para a melhor compreensão da geração distribuída também são apresentadas as vantagens e desvantagens de maior destaque na utilização desse tipo de geração e as principais fontes energéticas, renováveis ou não, que podem ser empregadas na geração distribuída.

Em sequência, são apresentadas detalhadamente as legislações brasileiras que têm contribuído para incentivar a utilização da geração distribuída no país. São abordadas as normas técnicas das principais distribuidoras de energia elétrica do Brasil, desde que a elaboração dessas foi determinada por lei. Comparações são também realizadas entre as normas nacionais e estrangeiras e apresentadas as perspectivas futuras para a legislação brasileira desse setor.

Com a finalidade de avaliar os efeitos da geração distribuída em um alimentador de distribuição, são realizadas simulações de distúrbios comuns no sistema elétrico de potência, como: curto-circuito trifásico, curto-circuito fase terra sólido, ilhamento de parte do sistema elétrico e aumento de carga. Todos os estudos de casos são preparados e processados com o *software* ATP. Para auxiliar na análise, o gerador distribuído é primeiramente desconectado e depois conectado ao sistema.

**Palavras-Chave:** ATP, estudos de casos, geração distribuída, legislação, norma técnica, sistema elétrico de potência.

---

# ABSTRACT

---

## **DISTRIBUTED GENERATION: BRAZILIAN LAW, PROSPECTS AND CASE STUDIES VIA ATP**

The constant concern to meet the growing demand for electricity has provided several researches in different areas in order to obtain new forms of power generation. In this context, distributed generation has emerged as a promising source of electricity located closely to consumer. Therefore, this work has as main objective to analyze the regulatory incentives for the use of distributed generation in Brazil, clearly display the current national legislation of this sector, report the future prospects to regulate this type of generation and assess the contributions of a distributed generation unit connected to a distribution feeder.

Initially, it are considered the various descriptions and definitions for distributed generation, as well as concepts and differences between centralized and distributed generation. For a better understanding of distributed generation it is also presented the most prominent advantages and disadvantages of using such generation and the main energy sources that can be used in distributed generation whether renewable or non-renewable.

In sequence, Brazilian laws that have contributed to promote the use of distributed generation in this country are presented in detail. It is also addressed the technical standards of the leading electricity distributors in Brazil, since the preparation of such regulations is determined by law. Comparisons are also made between national and foreign standards and presented the future prospects for the Brazilian law of this sector.

To evaluate the effects of distributed generation in a distribution feeder, simulations of common disturbances are performed in an electric power system. They are: three-phase short-circuit, phase-to-ground short-circuit, islanding of part of the electrical system and load increase. All case studies are prepared and run with ATP software. To help the analysis, the distributed generator is first disconnected and after connected to the system.

**Keywords:** ATP, case studies, distributed generation, legislation, technical standard, electrical power system.



# LISTA DE FIGURAS

---

<b>FIGURA 1.1</b> - MATRIZ ENERGÉTICA MUNDIAL EM 2011 .....	4
<b>FIGURA 2.1</b> - GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E GERAÇÃO CENTRALIZADA .....	9
<b>FIGURA 2.2</b> - REPRESENTAÇÃO DE UMA MICROTURBINA A GÁS .....	18
<b>FIGURA 2.3</b> - REPRESENTAÇÃO DA CÉLULA A COMBUSTÍVEL .....	20
<b>FIGURA 5.1</b> - REPRESENTAÇÃO DA SUBESTAÇÃO .....	61
<b>FIGURA 5.2</b> - REPRESENTAÇÃO DA CARGA .....	62
<b>FIGURA 5.3</b> - REPRESENTAÇÃO DA LINHA DE DISTRIBUIÇÃO.....	63
<b>FIGURA 5.4</b> - REPRESENTAÇÃO DO GERADOR DISTRIBUÍDO CONTROLADO .....	63
<b>FIGURA 5.5</b> - DIAGRAMA DE BLOCOS DO REGULADOR DE TENSÃO TIPO I DO IEEE .....	64
<b>FIGURA 5.6</b> - DIAGRAMA DE BLOCOS DO REGULADOR DE VELOCIDADE .....	64
<b>FIGURA 5.7</b> - REPRESENTAÇÃO DOS REGULADORES: (A) TENSÃO E (B) VELOCIDADE .....	64
<b>FIGURA 5.8</b> - REPRESENTAÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO ANALISADO .....	65
<b>FIGURA 5.9</b> - SISTEMA ELÉTRICO COM O CURTO-CIRCUITO TRIFÁSICO .....	66
<b>FIGURA 5.10</b> - POTÊNCIAS ATIVA E REATIVA DA SUBESTAÇÃO COM CURTO-CIRCUITO TRIFÁSICO E SEM GD ....	67
<b>FIGURA 5.11</b> - POTÊNCIAS ATIVA E REATIVA DA SUBESTAÇÃO COM CURTO-CIRCUITO TRIFÁSICO E COM GD ...	69
<b>FIGURA 5.12</b> - POTÊNCIAS ATIVA E REATIVA DO GERADOR DISTRIBUÍDO COM CURTO-CIRCUITO TRIFÁSICO ....	69
<b>FIGURA 5.13</b> - SISTEMA ELÉTRICO COM CURTO-CIRCUITO FASE-TERRA SÓLIDO .....	70
<b>FIGURA 5.14</b> - POTÊNCIAS ATIVA E REATIVA DA SUBESTAÇÃO COM CURTO-CIRCUITO FASE-TERRA SÓLIDO E SEM GD .....	71
<b>FIGURA 5.15</b> - POTÊNCIAS ATIVA E REATIVA DA SUBESTAÇÃO COM CURTO-CIRCUITO FASE-TERRA SÓLIDO E COM GD .....	72
<b>FIGURA 5.16</b> - POTÊNCIAS ATIVA E REATIVA DO GERADOR DISTRIBUÍDO COM CURTO-CIRCUITO FASE-TERRA SÓLIDO .....	73
<b>FIGURA 5.17</b> - SISTEMA ELÉTRICO COM ILHAMENTO .....	74
<b>FIGURA 5.18</b> - POTÊNCIAS ATIVA E REATIVA DA SUBESTAÇÃO COM ILHAMENTO E SEM GD .....	75
<b>FIGURA 5.19</b> - POTÊNCIAS ATIVA E REATIVA DA SUBESTAÇÃO COM ILHAMENTO E COM GD .....	76
<b>FIGURA 5.20</b> - POTÊNCIAS ATIVA E REATIVA DO GERADOR DISTRIBUÍDO COM ILHAMENTO.....	77
<b>FIGURA 5.21</b> - SISTEMA ELÉTRICO COM AUMENTO DE CARGA.....	78
<b>FIGURA 5.22</b> - POTÊNCIAS ATIVA E REATIVA DA SUBESTAÇÃO COM AUMENTO DE CARGA E SEM GD .....	79
<b>FIGURA 5.23</b> - POTÊNCIAS ATIVA E REATIVA DA SUBESTAÇÃO COM AUMENTO DE CARGA E COM GD .....	80
<b>FIGURA 5.24</b> - POTÊNCIAS ATIVA E REATIVA DO GERADOR DISTRIBUÍDO COM AUMENTO DE CARGA.....	81

# LISTA DE TABELAS

---

<b>TABELA 1.1</b> - COMPOSIÇÃO DA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA.....	4
<b>TABELA 4.1</b> - TEMPO DE DESLIGAMENTO EM FUNÇÃO DA TENSÃO .....	46
<b>TABELA 4.2</b> - VARIAÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA.....	46
<b>TABELA 4.3</b> - LIMITES DE DISTORÇÕES HARMÔNICAS .....	47
<b>TABELA 4.4</b> - FORMA DE CONEXÃO À DISTRIBUIDORA CEMIG D.....	47
<b>TABELA 4.5</b> - FORMA DE CONEXÃO ÀS DISTRIBUIDORAS CPFL.....	48
<b>TABELA 4.6</b> - FORMA DE CONEXÃO ÀS DISTRIBUIDORAS ELETROBRÁS.....	50
<b>TABELA 4.7</b> - FORMA DE CONEXÃO EM BAIXA TENSÃO ÀS DISTRIBUIDORAS ENERGISA .....	51
<b>TABELA 4.8</b> - TEMPO PARA ELIMINAÇÃO DA TENSÃO NÃO NOMINAL.....	54
<b>TABELA 4.9</b> - TEMPO DE ELIMINAÇÃO DE FREQUÊNCIA NÃO NOMINAL.....	54
<b>TABELA 4.10</b> - DISTORÇÕES HARMÔNICAS MÁXIMAS .....	55
<b>TABELA 4.11</b> - TEMPO DE ATUAÇÃO DA PROTEÇÃO.....	56
<b>TABELA 5.1</b> - VALORES DAS CARGAS .....	62
<b>TABELA 5.2</b> - VALORES DOS PARÂMETROS DAS LINHAS DE DISTRIBUIÇÃO.....	62
<b>TABELA 5.3</b> - PARÂMETROS DO GERADOR DISTRIBUÍDO .....	63
<b>TABELA 5.4</b> - PARÂMETROS DO REGULADOR DE TENSÃO .....	63
<b>TABELA 5.5</b> - PARÂMETROS DO REGULADOR DE VELOCIDADE .....	64
<b>TABELA 5.6</b> - VALORES DAS LINHAS DE DISTRIBUIÇÃO PRÓXIMAS AO CURTO-CIRCUITO TRIFÁSICO .....	66
<b>TABELA 5.7</b> - TENSÕES DO SISTEMA COM CURTO-CIRCUITO TRIFÁSICO E SEM GD .....	67
<b>TABELA 5.8</b> - TENSÕES DO SISTEMA COM CURTO-CIRCUITO TRIFÁSICO E COM GD .....	68
<b>TABELA 5.9</b> - TENSÕES DO SISTEMA COM CURTO-CIRCUITO FASE TERRA SÓLIDO E SEM GD .....	71
<b>TABELA 5.10</b> - TENSÕES DO SISTEMA COM CURTO-CIRCUITO FASE TERRA SÓLIDO E COM GD .....	72
<b>TABELA 5.11</b> - TENSÕES DO SISTEMA COM ILHAMENTO E SEM GD .....	74
<b>TABELA 5.12</b> - TENSÕES DO SISTEMA COM ILHAMENTO E COM GD .....	75
<b>TABELA 5.13</b> - VALORES DA CARGA INSERIDA NO BARRAMENTO CG8 .....	77
<b>TABELA 5.14</b> - TENSÕES DO SISTEMA COM AUMENTO DE CARGA E SEM GD .....	78
<b>TABELA 5.15</b> - TENSÕES DO SISTEMA COM AUMENTO DE CARGA E COM GD .....	80
<b>TABELA A.1</b> - FORMA DE CONEXÃO À DISTRIBUIDORA AMPLA .....	95
<b>TABELA A.2</b> - FORMA DE CONEXÃO À DISTRIBUIDORA CEA .....	96
<b>TABELA A.3</b> - FORMA DE CONEXÃO À DISTRIBUIDORA CEB .....	97
<b>TABELA A.4</b> - FORMA DE CONEXÃO À DISTRIBUIDORA CEEE-D .....	98
<b>TABELA A.5</b> - FORMA DE CONEXÃO À DISTRIBUIDORA CELESC-D .....	99

---

<b>TABELA A.6</b> - FORMA DE CONEXÃO À DISTRIBUIDORA CELG D .....	100
<b>TABELA A.7</b> - FORMA DE CONEXÃO DE MICROGERAÇÃO À DISTRIBUIDORA CELPA .....	101
<b>TABELA A.8</b> - FORMA DE CONEXÃO À DISTRIBUIDORA CHESP .....	103
<b>TABELA A.9</b> - FORMA DE CONEXÃO À DISTRIBUIDORA COCEL .....	104
<b>TABELA A.10</b> - FORMA DE CONEXÃO À DISTRIBUIDORA COELBA .....	104
<b>TABELA A.11</b> - FORMA DE CONEXÃO À DISTRIBUIDORA COELCE .....	105
<b>TABELA A.12</b> - FORMA DE CONEXÃO À DISTRIBUIDORA ELEKTRO .....	109
<b>TABELA A.13</b> - FORMA DE CONEXÃO À DISTRIBUIDORA ELETROCAR .....	110
<b>TABELA A.14</b> - FORMA DE CONEXÃO ÀS DISTRIBUIDORAS FECOERUSC .....	111
<b>TABELA A.15</b> - FORMA DE CONEXÃO À DISTRIBUIDORA IGUAÇU .....	112
<b>TABELA A.16</b> - FORMA DE CONEXÃO À DISTRIBUIDORA LIGHT .....	112
<b>TABELA A.17</b> - FORMA DE CONEXÃO À DISTRIBUIDORA MUXFELDT .....	113
<b>TABELA A.18</b> - FORMA DE CONEXÃO À DISTRIBUIDORA SANTA MARIA .....	114
<b>TABELA A.19</b> - FORMA DE CONEXÃO À DISTRIBUIDORA SULGIPE .....	115
<b>TABELA A.20</b> - FORMA DE CONEXÃO À DISTRIBUIDORA URUSSANGA .....	116

# SUMÁRIO

---

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>1.1.</b>	<b>Considerações Iniciais</b>	<b>1</b>
1.1.1.	Demanda de Energia Elétrica	2
1.1.2.	Matriz Energética Mundial	3
1.1.3.	Matriz Energética Brasileira	4
<b>1.2.</b>	<b>Objetivos e Contribuições</b>	<b>5</b>
<b>1.3.</b>	<b>Estrutura desta Dissertação</b>	<b>6</b>
<b>2.</b>	<b>ASPECTOS GERAIS SOBRE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA</b>	<b>8</b>
<b>2.1.</b>	<b>Considerações Iniciais</b>	<b>8</b>
<b>2.2.</b>	<b>Vantagens da Geração Distribuída</b>	<b>10</b>
2.2.1.	Vantagens aos Consumidores	10
2.2.2.	Vantagens às Distribuidoras de Energia Elétrica	11
2.2.3.	Vantagens ao Sistema Interligado Nacional	11
<b>2.3.</b>	<b>Desvantagens da Geração Distribuída</b>	<b>12</b>
2.3.1.	Desvantagens aos Consumidores	12
2.3.2.	Desvantagens às Distribuidoras de Energia Elétrica	13
2.3.3.	Desvantagens ao Sistema Interligado Nacional	13
<b>2.4.</b>	<b>Principais Fontes Utilizadas como Geração Distribuída</b>	<b>13</b>
2.4.1.	Tecnologias que Utilizam Fontes Renováveis de Energia	14
2.4.1.1.	<i>Energia Eólica</i>	14
2.4.1.2.	<i>Energia Solar Fotovoltaica</i>	14
2.4.1.3.	<i>Pequenas Centrais Hidrelétricas</i>	15
2.4.1.4.	<i>Biomassa</i>	15
2.4.1.5.	<i>Biogás</i>	16
2.4.1.6.	<i>Cogeração</i>	17
2.4.2.	Tecnologias que Utilizam Fontes Não-Renováveis de Energia	18
2.4.2.1.	<i>Microturbinas a Gás</i>	18

2.4.2.2.	<i>Células a Combustível</i>	19
2.4.2.3.	<i>Termelétricas com Combustíveis Fósseis</i>	20
2.4.2.4.	<i>Motores Alternativos de Combustão Interna</i>	21
2.4.2.5.	<i>Motores Stirling</i>	21
<b>2.5.</b>	<b>Considerações Finais</b>	<b>22</b>
<b>3.</b>	<b>LEGISLAÇÃO BRASILEIRA DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA</b>	<b>23</b>
<b>3.1.</b>	<b>Considerações iniciais</b>	<b>23</b>
<b>3.2.</b>	<b>Incentivos à Geração Distribuída no Brasil</b>	<b>24</b>
3.2.1.	Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996	25
3.2.2.	Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002	25
3.2.3.	Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004	26
3.2.4.	Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004	26
3.2.5.	Resolução Normativa nº 77, de 18 de agosto de 2004	27
3.2.6.	Resolução Normativa nº 167, de 10 de outubro de 2005	28
3.2.7.	Resolução Normativa nº 345, de 16 de dezembro de 2008	28
<b>3.3.</b>	<b>Legislação Vigente de Geração Distribuída no Brasil</b>	<b>29</b>
3.3.1.	Resolução Normativa nº 482, de 17 de Abril de 2012	29
3.3.1.1.	<i>Disposições Preliminares da REN 482/2012</i>	30
3.3.1.2.	<i>Acesso aos Sistemas de Distribuição</i>	31
3.3.1.3.	<i>Sistema de Compensação de Energia Elétrica</i>	31
3.3.1.4.	<i>Medição de Energia Elétrica</i>	32
3.3.1.5.	<i>Responsabilidades por Danos ao Sistema Elétrico</i>	33
3.3.1.6.	<i>Disposições Gerais da REN 482/2012</i>	33
3.3.2.	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST	33
3.3.2.1.	<i>Etapas para Viabilização do Acesso</i>	35
3.3.2.2.	<i>CrITÉrios Técnicos e Operacionais</i>	36
3.3.2.3.	<i>Requisitos de Projetos</i>	36
3.3.2.4.	<i>Implantação de Novas Conexões</i>	38
3.3.2.5.	<i>Requisitos para Operação, Manutenção e Segurança da Conexão</i>	39
3.3.2.6.	<i>Sistema de Medição</i>	40
3.3.2.7.	<i>Contratos</i>	41
<b>3.4.</b>	<b>Considerações Finais</b>	<b>43</b>

<b>4.</b>	<b>NORMAS TÉCNICAS E PERSPECTIVAS FUTURAS</b>	<b>45</b>
<b>4.1.</b>	<b>Considerações Iniciais</b>	<b>45</b>
<b>4.2.</b>	<b>Normas Técnicas Brasileiras</b>	<b>45</b>
4.2.1.	AES Eletropaulo: Metropolitana Eletricidade de São Paulo S/A	46
4.2.2.	CEMIG D: Companhia Energética de Minas Gerais	47
4.2.3.	CPFL Energia	48
4.2.4.	ELETROBRÁS	49
4.2.5.	Grupo Energisa	50
<b>4.3.</b>	<b>Normas Técnicas Estrangeiras</b>	<b>52</b>
4.3.1.	IEEE 1547 - 2003: IEEE Standard for Interconnecting Distributes Resources with Electric Power Systems	53
4.3.2.	Engineering Recommendation G83: Recommendations for the Connection of Type Tested Small-scale Embedded Generators (Up to 16A per Phase) in Parallel with Low-Voltage Distribution Systems	55
<b>4.4.</b>	<b>Comparação das Normas de Geração Distribuída Brasileiras e Estrangeiras</b>	<b>57</b>
<b>4.5.</b>	<b>Perspectivas Futuras da Legislação de Geração Distribuída no Brasil</b>	<b>57</b>
<b>4.6.</b>	<b>Considerações Finais</b>	<b>59</b>
<b>5.</b>	<b>ESTUDOS DE CASOS DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA</b>	<b>60</b>
<b>5.1.</b>	<b>Considerações Iniciais</b>	<b>60</b>
<b>5.2.</b>	<b>Modelagem do Sistema Elétrico</b>	<b>61</b>
5.2.1.	Modelagem da Subestação	61
5.2.2.	Modelagem das Cargas	61
5.2.3.	Modelagem das Linhas de Distribuição	62
5.2.4.	Modelagem do Gerador Distribuído	63
5.2.5.	Modelagem dos Reguladores de Tensão e Velocidade	63
<b>5.3.</b>	<b>Representação do Sistema Elétrico</b>	<b>64</b>
<b>5.4.</b>	<b>Estudos de Casos</b>	<b>65</b>
5.4.1.	Curto-Circuito Trifásico	65
5.4.1.1.	Curto-Circuito Trifásico Sem o Gerador Distribuído	67
5.4.1.2.	Curto-Circuito Trifásico Com o Gerador Distribuído	68

5.4.2.	Curto-Circuito Fase-Terra Sólido	70
5.4.2.1.	<i>Curto-Circuito Fase Terra Sólido Sem o Gerador Distribuído</i>	70
5.4.2.2.	<i>Curto-Circuito Fase Terra Sólido Com o Gerador Distribuído</i>	71
5.4.3.	Ilhamento	73
5.4.3.1.	<i>Ilhamento Sem o Gerador Distribuído</i>	74
5.4.3.2.	<i>Ilhamento Com o Gerador Distribuído</i>	75
5.4.4.	Aumento de Carga	77
5.4.4.1.	<i>Aumento de Carga Sem o Gerador Distribuído</i>	78
5.4.4.2.	<i>Aumento de Carga Com o Gerador Distribuído</i>	79
5.5.	<b>Considerações Finais</b>	81
6.	<b>CONCLUSÃO</b>	83
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	86
	<b>ANEXO. NORMAS TÉCNICAS DAS DISTRIBUIDORAS DE ENERGIA ELÉTRICA BRASILEIRAS</b>	94
A.1.	<b>Considerações Iniciais</b>	94
A.1.1.	AES Sul Distribuidora Gaúcha de Energia S/A	94
A.1.2.	Ampla: Ampla Energia e Serviços S/A	95
A.1.3.	CEA: Companhia de Eletricidade do Amapá	96
A.1.4.	CEB: Companhia Energética de Brasília	97
A.1.5.	CEEE-D: Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica	98
A.1.6.	CELESC-D: Centrais Elétricas de Santa Catarina S/A	99
A.1.7.	CELG D: Companhia Energética de Goiás	99
A.1.8.	CELPA: Centrais Elétricas do Pará S/A	100
A.1.9.	CELPE: Companhia Energética de Pernambuco	101
A.1.10.	CEMAR: Companhia Energética do Maranhão	102
A.1.11.	CHESP: Companhia Hidroelétrica São Patrício	103
A.1.12.	COCEL: Companhia Campolarguense de Energia	103
A.1.13.	COELBA: Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia	104
A.1.14.	COELCE: Companhia Energética do Ceará	105
A.1.15.	COPEL: Companhia Paranaense de Energia	106
A.1.16.	COSERN: Companhia Energética do Rio Grande do Norte	106
A.1.17.	DMED: DME Distribuição S/A	107
A.1.18.	EDP Energia do Brasil S/A	108

A.1.19. ELEKTRO: Elektro Eletricidade e Serviços S/A -----	109
A.1.20. ELETROCAR: Centrais Elétricas de Carazinho S/A -----	110
A.1.21. FECOERUSC: Federação das Cooperativas de Energia do Estado de Santa Catarina-----	111
A.1.22. Iguaçu: Iguaçu Distribuidora de Energia Elétrica -----	111
A.1.23. Light: Light Serviços de Eletricidade S/A -----	112
A.1.24. Mux Energia: Muxfeldt, Marin e Cia Ltda.-----	113
A.1.25. Nova Palma: Usina Hidroelétrica Nova Palma-----	113
A.1.26. Panambi: Hidroelétrica Panambi S/A-----	114
A.1.27. Santa Maria: Empresa Luz e Força Santa Maria S/A -----	114
A.1.28. Sulgipe: Companhia Sul Sergipana de Eletricidade -----	115
A.1.29. Urussanga: Empresa Força e Luz de Urussanga Ltda. -----	116



# CAPÍTULO 1

---

## INTRODUÇÃO

### 1.1. Considerações Iniciais

A busca por novos meios de garantir a sua sobrevivência e a execução de suas tarefas sempre fez parte da vida do ser humano. Isso pode ser evidenciado por grandes conquistas ocorridas ao longo da história da humanidade, como a descoberta do fogo e a invenção da roda. O advento da eletricidade também representou um marco para a sociedade, pois a partir dela foram introduzidas profundas mudanças no cotidiano das pessoas, na forma de se relacionarem entre si e na velocidade com que ocorreram novas grandes descobertas.

A energia elétrica está presente em vários setores da sociedade, como no setor industrial, transportes, comunicação, residencial e comercial. O uso da eletricidade ocorreu de forma gradativa à medida que foram sendo desenvolvidas novas tecnologias. Atualmente a população mundial se encontra dependente da energia elétrica, pois muitas tecnologias possuem seu uso consolidado na vida das pessoas e são indispensáveis em muitas situações. Essa necessidade do homem em desenvolver inúmeras atividades vem intensificando o consumo da energia elétrica ao longo de várias décadas, representando assim um expressivo aumento em sua demanda.

A maneira de obtenção de energia elétrica sempre foi muito estudada por pesquisadores. Assim, existem hoje várias opções para a sua geração, podendo ser proveniente de fontes não renováveis de energia, como o carvão e o gás natural, ou renováveis, como o vento e a água. A geração de energia elétrica ainda pode ocorrer por meio de formas distintas, podendo ser realizada por geração centralizada, na qual as usinas são de grande porte e concentradas em

---

poucos locais ou, de forma distribuída, com unidades menores e em maiores quantidades. Assim, são inúmeras as opções de geração de energia elétrica para atender a demanda desse recurso.

Com a variedade de formas de se obter energia elétrica, muitos países têm procurado investir em novas tecnologias para atender suas demandas. Grande quantidade de países possui sua geração de energia elétrica proveniente de poucas fontes energéticas. Assim, esses países buscam diversificar suas matrizes energéticas para não ficarem dependentes de poucas fontes e suas particularidades. Como por exemplo, citam-se os recursos renováveis, nas quais as condições climáticas interferem significativamente na geração de energia elétrica, e as fontes não renováveis como os combustíveis fósseis, que possuem suas reservas limitadas.

### **1.1.1. Demanda de Energia Elétrica**

O crescente aumento do consumo de energia elétrica vem ocorrendo em diversos países e preocupando os governantes com relação às medidas necessárias para garantir o atendimento adequado de eletricidade à população. A energia elétrica atualmente está intimamente relacionada ao desenvolvimento de uma nação, sendo um dos recursos primordiais no setor industrial, o qual muitas vezes é responsável por impulsionar a economia dos países. Dessa forma, o aumento significativo da demanda de energia elétrica é preocupante no mundo todo e este aumento é resultado de diversos fatores que ocorrem em conjunto.

Um dos fatores que contribuem para elevar o consumo de energia elétrica é o aumento da população mundial. Esse fator deve ser analisado para compreender o consumo de energia elétrica, pois com essa elevação há maior consumo de bens e serviços que utilizam eletricidade. Neste contexto, a população mundial tem apresentado um expressivo aumento ao longo dos anos, segundo a ONU (Organização das Nações Unidas) a população mundial atingiu um bilhão de habitantes no ano de 1804 e sete bilhões de habitantes em 2011 [1].

Além disso, dentre outros indicadores econômicos a elevação da demanda de energia elétrica é influenciada pelo aumento do Produto Interno Bruto (PIB). Este é um indicador econômico de todos os bens e serviços finais que determinada região produz em um período de tempo específico. Com a elevação desse índice significa que há mais dinheiro disponível à população, maior renda por pessoa e, por consequência, maior consumo da população em diversos setores. Dessa forma, há maiores gastos com eletricidade pela sociedade, que adquire produtos como eletrônicos e eletrodomésticos [2]. O aumento do consumo de novos produtos pela população também impulsiona as atividades industriais, as quais aumentam sua produção

para atender a maior demanda, havendo, assim maior consumo de energia elétrica em seus processos produtivos.

As condições climáticas também interferem diretamente na demanda de energia elétrica. Como por exemplo, a variação da temperatura contribui para aumentar o consumo de energia, pois a população aumenta o uso de condicionares de ar quando a temperatura está elevada e, nos períodos frios, utilizam com mais frequência os aquecedores de ambiente. No Brasil, os meses de janeiro e fevereiro de 2014 apresentaram altas temperaturas nas regiões sudeste/centro-oeste e sul. Com isso, a população intensificou a utilização de condicionares de ar, elevando assim o consumo de energia elétrica residencial em 10%, enquanto que o setor comercial apresentou um aumento de 10,8% comparado ao mesmo período do ano anterior [3].

Neste contexto, muitos países têm incentivado a utilização da geração distribuída para aumentar sua geração de energia elétrica de forma mais rápida e econômica, comparado com a construção de novas unidades de geração centralizada e, também, para aumentarem as fontes energéticas utilizadas em suas matrizes energéticas.

### **1.1.2. Matriz Energética Mundial**

Os primeiros recursos utilizados em grande quantidade para se obter energia elétrica foram os combustíveis fósseis, como o carvão mineral, o gás natural e o petróleo. Essas fontes continuam sendo as mais utilizadas mundialmente para a produção de eletricidade. Outros tipos de geração que utilizam fontes renováveis ainda apresentam pequena participação na matriz energética mundial [4].

Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA), em 2011, os combustíveis fósseis foram responsáveis por 68% da geração de energia elétrica no mundo, enquanto que as hidrelétricas produziram 15,8% da eletricidade mundial nesse período. Outras fontes energéticas, como o sol e geotérmica representaram apenas 4,5% da energia elétrica global [4]. A composição da matriz energética mundial no ano de 2011 pode ser observada na Figura 1.1.

Com a Figura 1.1, observa-se que a maior parte da energia elétrica é gerada por apenas cinco fontes energéticas, sendo essas responsáveis pela geração de 95,5% da eletricidade mundial. Assim, a energia elétrica se encontra dependente de poucas fontes energéticas e as características de cada uma delas. Dessa forma, muitos governantes têm investido em novas formas de geração para diversificar sua matriz energética e se tornarem independentes com relação a esse recurso. Uma alternativa eficiente adotada por vários países é a geração distribuída, a qual opera com diversas tecnologias disponíveis no mercado.

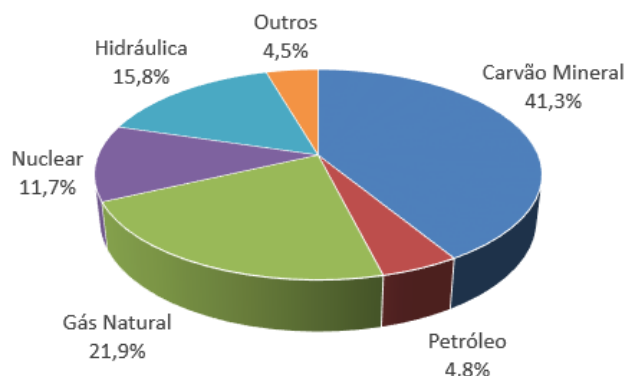


Figura 1.1 - Matriz energética mundial em 2011 (Fonte: Extraído de [4])

### 1.1.3. Matriz Energética Brasileira

A matriz energética brasileira possui várias fontes de energia, como o sol, o vento, a água, a biomassa, a nuclear e os combustíveis fósseis. Porém, a energia gerada pelo país é proveniente principalmente das usinas hidrelétricas, as quais segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica, em julho de 2014, foram responsáveis por 63,36% da eletricidade produzida no país. A participação de cada fonte no cenário energético nacional pode ser observada na Tabela 1.1.

Tabela 1.1 – Composição da Matriz Energética Brasileira

<i>Empreendimentos em Operação</i>							
<i>Tipo</i>		<i>Capacidade Instalada</i>		<i>%</i>	<i>Total</i>		<i>%</i>
		<i>Nº Usinas</i>	<i>(MW)</i>		<i>Nº Usinas</i>	<i>(MW)</i>	
Hidro		1109	87069	63,36	1109	87069	63,36
Gás	Natural	116	12538	9,12	157	14285	10,39
	Processo	41	1747	1,27			
Petróleo	Óleo Diesel	1153	3558	2,59	1186	7641	5,56
	Óleo Residual	33	4083	2,97			
Biomassa	Bagaço de Cana	378	9538	6,94	481	11752	8,56
	Licor Negro	17	1657	1,21			
	Madeira	53	437	0,32			
	Biogás	24	84	0,06			
	Casca de Arroz	9	36	0,03			
Nuclear		2	1990	1,45	2	1990	1,45
Carvão	Mineral	13	3389	2,47	13	3389	2,47
Eólica		147	3106	2,26	147	3106	2,26
Solar		108	9	0,01	108	9	0,01
Importação	Paraguai		5650	4,11		8170	5,94
	Argentina		2250	1,64			
	Venezuela		200	0,14			
	Uruguai		70	0,05			
<b>Total</b>		<b>3203</b>	<b>137411</b>	<b>100</b>	<b>3203</b>	<b>137411</b>	<b>100</b>

Fonte: Extraído de [5]

A geração hidrelétrica no país possui característica centralizada, ou seja, é baseada em unidades com capacidade elevada de geração e localizadas distantes dos grandes centros de consumo de energia elétrica. As construções de novas usinas têm se tornado mais difíceis, devido, principalmente, a questões ambientais, longo tempo de construção e necessidade de investimentos elevados.

Neste contexto, para atender ao aumento da demanda de energia, a geração distribuída tem se apresentado como uma excelente alternativa. Essa tecnologia se baseia em unidades menores, próximas aos centros de consumo, necessitando, assim de investimentos e tempo de instalação menores comparado às tradicionais formas de geração.

O Brasil, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica, em julho de 2012, apresentava 3157 agentes no mercado de geração de energia elétrica. Deste total, apenas 217, que correspondem a 6,9%, são provenientes de geração distribuída. A geração distribuída no Brasil, em 2012, estava presente no Distrito Federal e nos seguintes Estados: São Paulo, Paraná, Tocantins, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Minas Gerais, Rio de Janeiro, Pernambuco, Ceará, Bahia, Mato Grosso do Sul, Paraíba, Rio Grande do Norte, Maranhão e Goiás [5].

## **1.2. Objetivos e Contribuições**

O principal objetivo desta dissertação consiste em analisar a geração distribuída no Brasil, considerando a legislação no país, as perspectivas futuras e estudos de casos envolvendo essa tecnologia. Para atingi o objetivo proposto, este trabalho possui as seguintes metas:

- Definir geração distribuída;
- Comparar geração distribuída e geração centralizada;
- Apresentar vantagens e desvantagens da geração distribuída;
- Descrever os principais tipos de tecnologias utilizadas na geração distribuída;
- Apresentar as leis, decretos e resoluções normativas relativas à geração distribuída que incentivaram o desenvolvimento deste tipo de geração no país;
- Detalhar a legislação atual sobre geração distribuída;
- Apresentar as normas técnicas das distribuidoras de energia elétrica;
- Comparar a legislação brasileira com a legislação estrangeira em geração distribuída;
- Apresentar as perspectivas futuras da regulação da geração distribuída;
- Descrever estudos de casos com a geração distribuída.

Dentro deste contexto, a presente dissertação apresenta as seguintes contribuições:

- Análise das condições atuais da geração distribuída no Brasil, contemplando a legislação vigente no país, as normas técnicas das distribuidoras sobre a conexão da geração distribuída e perspectivas futuras da legislação brasileira;
- Vários estudos de casos com esse tipo de geração avaliando os efeitos de um gerador distribuído em um alimentador de distribuição;
- Descreve os fundamentos teóricos e práticos para que produtores de energia, distribuidoras de energia elétrica e público interessado no assunto compreendam de forma clara e objetiva a geração distribuída.

### **1.3. Estrutura desta Dissertação**

Para a melhor compreensão, esta dissertação é dividida nos seguintes capítulos:

#### **Capítulo I: Introdução**

No primeiro capítulo foram apresentados os principais fatores para o aumento da demanda de energia elétrica, a composição atual da matriz energética mundial e brasileira. Além disso, foram expostos os principais motivos para a utilização da geração distribuída.

#### **Capítulo II: Aspectos Gerais sobre Geração Distribuída**

O segundo capítulo aborda as definições de geração centralizada e geração distribuída. São também apresentadas as principais vantagens e desvantagens da geração distribuída e suas principais tecnologias a partir de fontes renováveis e não renováveis.

#### **Capítulo III: Legislação Brasileira da Geração Distribuída**

O capítulo três tem como principal objetivo descrever as normas referentes à legislação da geração distribuída no Brasil, sendo contempladas as leis que impulsionaram o crescimento dessa tecnologia no país e a legislação atual.

#### **Capítulo IV: Normas Técnicas e Perspectivas Futuras**

No quarto capítulo são descritas as normas técnicas de distribuidoras de energia elétrica brasileiras e normas técnicas estrangeiras. Neste capítulo, também são apresentadas as perspectivas futuras para a regulação da geração distribuída no país.

### **Capítulo V: Estudos de Casos da Geração Distribuída**

No capítulo cinco é avaliada a influência de um gerador distribuído quando ocorrem alguns distúrbios no sistema elétrico, como curto-circuito trifásico, curto-circuito fase terra sólido, ilhamento e aumento de carga.

### **Capítulo VI: Conclusão**

O último capítulo desta dissertação apresenta as conclusões do trabalho, destacando as principais contribuições e também sugestões para investigações futuras relacionadas com o assunto pesquisado.

# CAPÍTULO 2

---

## ASPECTOS GERAIS SOBRE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

### 2.1. Considerações Iniciais

As tradicionais formas de geração de energia elétrica são consideradas unidades centralizadas, as quais são caracterizadas por se localizarem distantes dos consumidores, utilizando longos sistemas de transmissão e distribuição para que a energia chegue aos centros de carga. Essa topologia é radial, ou seja, o fluxo de energia ocorre apenas em um sentido no sistema elétrico, da geração para as cargas. Além disso, a geração centralizada ocupa grande área para sua instalação, requer um tempo elevado para sua implantação e sua produção é despachada diretamente para o sistema de transmissão [6].

A geração distribuída difere em vários parâmetros das unidades centralizadas. Esta geração possui como principais características a obtenção de energia não centralizada, ou seja, a geração distribuída pode estar presente em vários locais do sistema elétrico, são localizadas próximas aos consumidores finais de energia, não necessitam de longos sistemas de transmissão, ocupam menores áreas para sua instalação e podem ou não terem sua produção despachadas pelo sistema de transmissão [6].

Na Figura 2.1 é apresentada uma representação de um sistema elétrico com geração centralizada e geração distribuída, onde a primeira é representada pela usina hidrelétrica conectada ao sistema de transmissão e a segunda pelos sistemas eólico e solar.

---



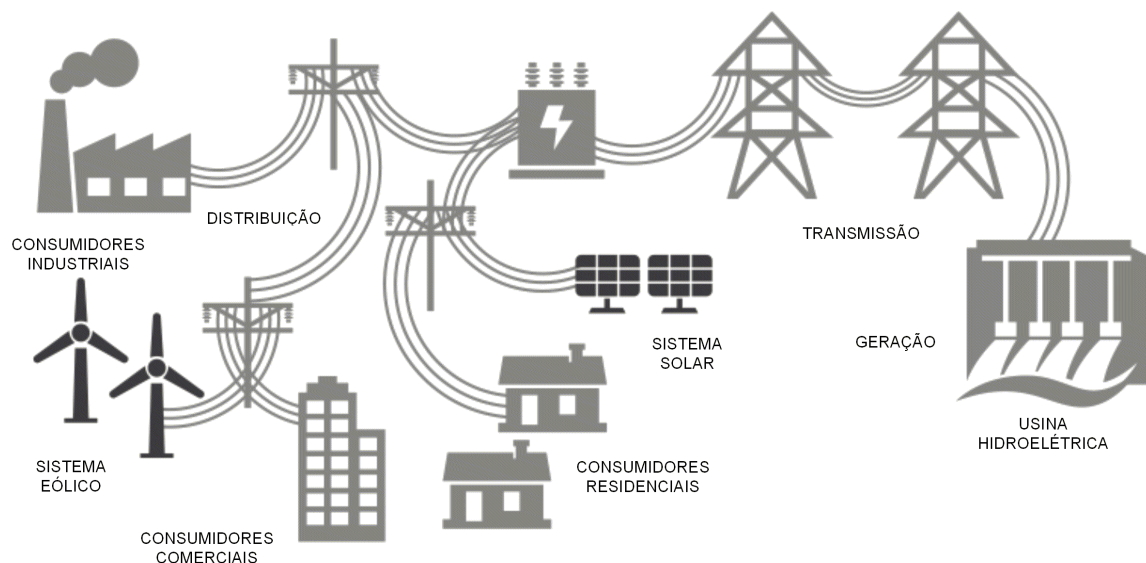


Figura 2.1 – Geração distribuída e geração centralizada (Fonte: DYA Energia Solar)

A geração distribuída possui várias denominações na literatura dependendo da região onde o termo é mencionado. Na Europa e parte da Ásia recebe o nome de geração descentralizada (*decentralised generation*), nos Estados Unidos da América é chamada de geração dispersa (*dispersed generation*) e também pode ser encontrado o termo geração integrada (*embedded generation*) [7].

Na literatura também são encontradas várias definições para o termo geração distribuída. O IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) define geração distribuída como as instalações geradoras de energia elétrica menores que as centrais geradoras e que permitem a interconexão em qualquer ponto do sistema elétrico. Para o CIGRÉ (*Conseil International des Grands Réseaux Électriques*), geração distribuída é a geração não centralizada, não despachada, normalmente ligada a rede de distribuição e com potência instalada menor que 100 MW. A IEA (*International Energy Agency*) descreve esta tecnologia como uma geração que atende ao cliente localmente ou oferece suporte à rede de distribuição, é conectada à rede de distribuição com o mesmo nível de tensão e as tecnologias utilizadas incluem turbinas de pequeno porte, células a combustível e células fotovoltaicas [7].

No Brasil, a geração distribuída é definida pela geração de energia elétrica em qualquer potência, com suas instalações podendo ser conectadas diretamente ao consumidor ou ao sistema elétrico da concessionária, pode operar de forma paralela ou isolada e a energia elétrica gerada pode ser ou não despachada pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico [8]. Esta definição foi estabelecida pelo Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST) em seu Módulo I, publicado pela ANEEL.

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) classifica a geração distribuída no Brasil em duas modalidades de acordo com a sua potência instalada. Essas modalidades foram estabelecidas por meio da Resolução Normativa nº 482/2012 [9], as quais são:

- **Microgeração Distribuída:** possui potência instalada menor ou igual a 100 kW;
- **Minigeração Distribuída:** sua potência instalada é superior a 100 kW e menor ou igual a 1MW.

## **2.2. Vantagens da Geração Distribuída**

A geração distribuída de energia elétrica possui algumas vantagens para os consumidores, distribuidoras de energia elétrica e o Sistema Interligado Nacional frente à geração centralizada. As principais vantagens na utilização deste tipo de geração serão descritas a seguir.

### **2.2.1. Vantagens aos Consumidores**

- **Redução dos custos de transporte:** a geração distribuída, por se localizar próxima aos consumidores finais não necessita que a energia gerada seja transportada por longas distâncias para chegar ao usuário [10].
- **Baixo custo com investimentos:** o investimento necessário para a implantação da geração distribuída é menor, devido as unidades serem menores [11].
- **Aumento da qualidade e confiabilidade no fornecimento da energia:** a geração distribuída não permite alterações nos valores nominais da tensão e da frequência [12].
- **Aumento da oferta de energia:** com a geração distribuída em diversas localizações do sistema elétrico há o maior fornecimento de energia, garantindo uma maior segurança no atendimento ao consumidor [13].
- **Atendimento a áreas remotas:** a geração distribuída é mais indicada para atender áreas distantes da geração centralizada, devido os custos elevados na transmissão de energia elétrica quando utilizada a tradicional forma de geração [14].
- **Menores custos em horários de ponta:** a geração distribuída representa uma alternativa economicamente mais viável para ser utilizada em horários de ponta, nos quais as tarifas das distribuidoras são elevadas [15].

- Utilização de diversas fontes de energia: a geração distribuída pode operar utilizando fontes renováveis ou não renováveis de energia [15].

### **2.2.2. Vantagens às Distribuidoras de Energia Elétrica**

- Diminuição das perdas elétricas: a instalação das unidades geradoras próximas ao consumidor final contribui para reduzir o carregamento dos sistemas de distribuição, diminui as perdas no sistema elétrico e proporciona um menor carregamento no sistema [11].
- Reduz a necessidade de novas linhas de transmissão: por se localizar próxima ao consumidor, a geração distribuída dispensa a construção de linhas de transmissão para fazer a sua conexão às cargas [11].
- Facilidade com a área de instalação: como as unidades de geração são menores, há uma maior facilidade para localizar áreas para a construção dessas [11].
- Tempo menor de construção de novas unidades: o período para a construção de novas unidades de geração distribuída é menor, pois estas são instalações de menor porte que as geradoras centralizadas [12].
- Adiamento e/ou redução de investimentos na expansão do sistema: com a geração distribuída em diversos locais, esta contribui para aumentar a disponibilidade de energia, adiando e/ou reduzindo os investimentos em expansões de linhas de transmissão e construção de novas unidades de geração centralizada [14].
- Menores erros de planejamento: como as unidades de geração distribuída possuem baixas potências, isso permite aumentar a oferta de energia de forma gradual para atender ao aumento da demanda [15].
- Facilidade de aprovação de projetos: as unidades de geração distribuída sendo de baixa potência necessitam de menores áreas para sua construção, interferindo menos no meio ambiente e, assim, os processos de autorizações ambientais são mais simples [15].

### **2.2.3. Vantagens ao Sistema Interligado Nacional**

- Redução dos impactos ambientais: por serem unidades menores, a geração distribuída interfere menos no meio ambiente [13].

- Rápido atendimento da elevação da demanda: o tempo de construção de novas unidades de geração é menor, devido à instalação dessa geração ser menor [14].
- Maior estabilidade do sistema elétrico: a inserção da geração distribuída no sistema elétrico, propicia reservas de geração de energia [14].
- Menor carregamento do sistema elétrico: com a energia gerada próxima ao consumidor, o carregamento elétrico do sistema diminui contribuindo para aumentar a flexibilidade da operação do sistema [15].
- Aumento no nível de tensão: com mais geração de energia no sistema, a tensão nos ramais se eleva, contribuindo com a qualidade da energia e evitando obras de reforço para melhorar os níveis de tensão [15].
- Diversificação da matriz energética: a geração distribuída pode operar utilizando diversos tipos de fontes energéticas [15].

## **2.3. Desvantagens da Geração Distribuída**

A geração distribuída também apresenta algumas desvantagens comparada à geração centralizada. As principais desvantagens no emprego dessa geração serão apresentadas em sequência.

### **2.3.1. Desvantagens aos Consumidores**

- Valores diferentes para o investimento: como a geração distribuída pode utilizar diversas fontes energéticas, os custos com investimentos variam de acordo a tecnologia empregada [12].
- Variação na produção de energia elétrica: dependendo do tipo de fonte energética utilizada na unidade de geração distribuída (como o sol e o vento) há uma variação na produção de energia elétrica [14].
- Elevação das tarifas cobradas pelas distribuidoras: com a geração distribuída atendendo localmente os consumidores, as distribuidoras não irão utilizar totalmente suas instalações, podendo aumentar o valor de suas tarifas para compensar essa diminuição em seu faturamento [14].
- Baixa eficiência: algumas fontes energéticas utilizadas apresentam baixa eficiência na conversão de energia [15].

### 2.3.2. Desvantagens às Distribuidoras de Energia Elétrica

- Reajuste nos dispositivos de proteção: os equipamentos tradicionais de proteção foram programados e ajustados para o fluxo de energia radial, com a geração distribuída, a configuração do sistema é alterada, tendo fluxo de energia no sentido oposto ao convencional (energia do consumidor para o sistema elétrico) [11].
- Estudo das distribuidoras: com fluxo bidirecional no sistema elétrico, as distribuidoras de energia terão que realizar estudos para avaliar o impacto da inserção desta nova geração no sistema elétrico [11].
- Maior complexidade das manutenções: com o fluxo de energia bidirecional no sistema elétrico a operação de manutenção se torna mais arriscada [14].

### 2.3.3. Desvantagens ao Sistema Interligado Nacional

- Elevada complexidade na operação do sistema elétrico: na geração centralizada o fluxo de energia ocorria de forma radial, com a inserção de geração distribuída no sistema há geração de energia em vários locais [14].
- Sobretensões: a geração distribuída deve ser devidamente ajustada para não ocasionar sobretensões no sistema elétrico [15].
- Aumento do nível de curto-circuito: as unidades de geração distribuída são fontes de alimentação para as correntes de curto-circuito [13].
- Harmônicos: dependendo do tipo de fonte energética da geração distribuída é necessário a utilização de conversores estáticos, os quais contribuem para o surgimento de harmônicos [11].

## 2.4.Principais Fontes Utilizadas como Geração Distribuída

Uma das principais características da geração distribuída é sua possibilidade de utilizar diversas fontes de energia para o seu funcionamento. Esta forma de geração permite utilizar as tradicionais fontes de energia, como as não renováveis e também as promissoras fontes renováveis de energia. A seguir serão abordadas as principais tecnologias utilizando fontes renováveis e não renováveis.

### **2.4.1. Tecnologias que Utilizam Fontes Renováveis de Energia**

#### **2.4.1.1. Energia Eólica**

A energia eólica é uma das opções da geração distribuída utilizando fontes renováveis. Este tipo de energia já foi muito utilizado antigamente para atender regiões isoladas e de difícil acesso às redes de transmissão e distribuição. Com a constante preocupação com o meio ambiente e com a necessidade de expandir a matriz energética, a energia eólica vem sendo amplamente estudada e empregada atualmente no sistema elétrico.

Os sistemas de energia eólica possuem como principais elementos as pás da turbina, a turbina, o gerador e o vento. Para a obtenção da energia, o vento é responsável por movimentar as pás, transferindo sua energia cinética para estas. Com o vento incidindo nas pás, estas se movimentam girando o eixo da turbina, a qual está acoplada no mesmo eixo do gerador. Assim, a energia é obtida de forma similar em uma usina hidrelétrica, a principal diferença é que o vento é o encarregado de movimentar a turbina em sistemas eólicos e a água em sistemas hidrelétricos [12].

O Brasil é um país que possui grande potencial para a utilização da energia eólica. A região nordeste é o local do país mais favorável a instalação dessas usinas, devido as características do vento nessa área. O Brasil, em julho de 2014, possuía em operação 147 usinas eólicas, com capacidade total de 3106,18 MW de potência. Das usinas eólicas instaladas no Brasil, dez são consideradas geração distribuída, de acordo com a legislação brasileira [5].

#### **2.4.1.2. Energia Solar Fotovoltaica**

A energia solar fotovoltaica consiste na transformação da energia térmica proveniente do sol em energia elétrica. Para a obtenção da energia elétrica são utilizados módulos fotovoltaicos, os quais são formados pela conexão de vários painéis fotovoltaicos em série e/ou paralelo. Os painéis fotovoltaicos são constituídos por células fotovoltaicas formadas por semicondutores. O semicondutor mais utilizado para fabricação de células fotovoltaicas é o silício, podendo ser monocristalino, policristalino e de filmes finos.

As características do material semicondutor permitem a conversão de energia solar em energia elétrica. Para que o silício conduza eletricidade é necessário que ocorra a adição de outros elementos químicos, denominados de impurezas, aos átomos do elemento silício, com a finalidade de modificar a quantidade de elétrons em sua última camada de elétrons. Assim, ao realizar as ligações entre os átomos de silício e os demais elementos adicionados surgirão elétrons sem fazer ligações, dando origem aos elétrons livres e lacunas, necessários na condução

de eletricidade. Os semicondutores que são dopados com outros elementos são denominados de semicondutores tipo N e tipo P [16].

O semicondutor tipo N possui na última camada de elétrons de seus átomos uma quantidade a mais de elétrons e o semicondutor tipo P apresenta ausência de elétrons na última camada de elétrons de seus átomos. Assim, a célula fotovoltaica é constituída a partir da união de semicondutores tipo N e tipo P, que formam a junção PN. Ao realizar a junção dos semicondutores tipo N e tipo P os elétrons livres encontrados na região tipo N se deslocam para preencher as lacunas presentes na região tipo P e o elétron que saiu deixa em seu lugar uma nova lacuna. Essas cargas originam um campo elétrico, o qual ao entrar em equilíbrio não permite que ocorra a movimentação de elétrons do lado N para o lado P.

O fóton proveniente da radiação solar quando possui energia superior ao gap do elemento semicondutor é responsável por fazer um elétron saltar de sua última camada para a camada de condução, formando um elétron livre. Isso é responsável por desequilibrar eletricamente o semicondutor, possibilitando que os elétrons do tipo N cheguem às lacunas do tipo P e, assim, forma-se uma corrente elétrica. Este fenômeno é chamado de efeito fotovoltaico. Quando os terminais da célula fotovoltaica são ligados a um fio surge uma circulação de elétrons originando a corrente elétrica [16].

O Brasil possui um grande potencial para a exploração da energia solar fotovoltaica, uma vez que, o país se encontra em região tropical com grande incidência de radiação solar na maior parte do ano. O país, em julho de 2014, possuía em operação 108 usinas solares fotovoltaicas, atingindo uma potência de 9922,61 kW [5].

#### **2.4.1.3. Pequenas Centrais Hidrelétricas**

As pequenas centrais hidrelétricas (PCH) são centrais geradoras de eletricidade que utilizam como fonte energética a água. Estas centrais geradoras diferem das tradicionais usinas hidrelétricas pela potência, uma vez que, as PCHs possuem potência reduzida. A Agência Nacional de Energia Elétrica, por meio da Resolução Normativa nº 343/2008, estabelece que as pequenas centrais geradoras possuem potência maior que 1 MW e igual ou menor que 30 MW e a produção de energia deve ser independente ou autoprodução. A PCH também possui como característica as dimensões do seu reservatório de água, este deve ocupar uma área máxima de 3,00 km<sup>2</sup> [17].

No Brasil, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica, em julho de 2014, estavam em operação 463 pequenas centrais hidrelétricas, responsáveis por 4,64 GW de potência. A energia produzida nessas usinas é destinada a autoprodução, produção independente de energia

e também para serviço público. No país, as pequenas centrais hidrelétricas estão presentes nos seguintes Estados: Minas Gerais, Tocantins, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Espírito Santo, Rondônia, Goiás, Santa Catarina, Roraima, São Paulo, Paraná, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Pernambuco, Pará e Bahia [5].

#### **2.4.1.4. Biomassa**

A biomassa consiste em resíduos de origem vegetal ou animal que podem ser utilizados para a obtenção de energia elétrica. Com a utilização da biomassa ocorre a transformação indiretamente da energia proveniente do sol em energia elétrica. Este processo ocorre devido a origem dos seres vivos ser a fotossíntese, na qual os vegetais convertem gás carbônico e água na presença de luz solar em glicose e oxigênio.

A biomassa é o combustível utilizado em algumas termelétricas para a obtenção de eletricidade. Esta é queimada nas caldeiras, onde aquece a água formando vapor em alta pressão. Esse vapor é responsável por movimentar as pás de uma turbina, a qual possui o rotor girando junto com o eixo de um gerador. Assim, é convertida de forma indireta a energia solar em energia elétrica. Este é um recurso renovável e sua utilização na produção de eletricidade apresenta menor degradação ao meio ambiente, comparado com os combustíveis fósseis, assim, esta é a principal vantagem apresentada por esse recurso energético [13].

O Brasil é um país que possui ótimas condições para a produção e aproveitamento da biomassa. Este apresenta grande extensão territorial, intensa radiação solar e possui boas condições do solo para a plantação de diversas culturas. O tipo de biomassa mais utilizado no Brasil para a produção de energia elétrica é o bagaço de cana-de-açúcar, estando sua plantação em diversos estados brasileiros. Outros tipos de biomassa também comuns são: capim, casca de arroz, casca de castanha, lenha, carvão vegetal, licor negro, coco de babaçu e dendê [18].

#### **2.4.1.5. Biogás**

O biogás é resultante do processo de decomposição anaeróbica da matéria orgânica. Esse processo ocorre sem a presença de oxigênio por específicas bactérias, as quais decompõem a matéria orgânica liberando gases nesse processo. O biogás pode ser proveniente de materiais orgânicos como lixo doméstico, dejetos de animais e resíduos vegetais. Os gases liberados na decomposição dependem da matéria orgânica que está sendo decomposta, porém os principais gases presentes em sua composição são [19]:

- Metano ( $\text{CH}_4$ ): 50 a 80%
- Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ): 20 a 40%



- Hidrogênio ( $H_2$ ): 1 a 3%
- Nitrogênio ( $N_2$ ): 0,5 a 3%
- Gás sulfídrico ( $H_2S$ ) e Amônia ( $NH_3$ ): 1 a 5%

O biogás é utilizado em microturbinas para a obtenção de energia elétrica. O seu princípio de funcionamento ocorre da mesma forma quando utilizado o gás tradicional. As microturbinas são compostas por um compressor no mesmo eixo que uma turbina e também por câmara de combustão. O processo ocorre inicialmente pela entrada de ar no compressor, no qual este é comprimido e passa para a câmara de combustão à alta temperatura. Em seguida, ocorre a combustão do ar com o biogás na câmara de combustão. Os gases passam para a turbina, a qual está conectada ao gerador e este é responsável pela obtenção da energia elétrica [12]. O Brasil, em julho de 2014, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica, possuía em operação 24 usinas utilizando o biogás como combustível [5].

#### **2.4.1.6. Cogeração**

A cogeração define a obtenção de mais de uma forma de energia a partir de uma única fonte energética. A forma mais comum de cogeração é a obtenção de energia elétrica e energia térmica nas usinas termelétricas, as quais podem utilizar diversos combustíveis em seu processo, como gás natural, biomassa, carvão e outros.

A eficiência das termelétricas é reduzida, aproximadamente de 30 a 40%, devido a limitações físicas e independe do tipo de combustível empregado em seu processo. Durante o funcionamento das termelétricas há liberação de grande quantidade de calor para o ambiente e em muitas indústrias, nas quais são utilizadas as termelétricas, também há necessidade de energia térmica em outros processos. Assim, utiliza-se o calor liberado para outras finalidades e o processo total se torna mais eficiente, com um aproveitamento de até 85% do combustível inicial [20].

A cogeração apresenta como principal vantagem o aumento da eficiência das usinas termelétricas. Além disso, a cogeração contribui para a diminuição da emissão de poluentes na atmosfera, pois estas unidades emitem uma menor quantidade de  $CO_2$  para o ambiente. As unidades de cogeração possuem sua produção flexível, podendo atender as variações da demanda ao longo do dia e possuem maior confiabilidade, pois a produção de energia e calor são realizadas localmente. A principal desvantagem da cogeração é a distância que se pode aproveitar o calor, devido à dificuldade em transportar a energia térmica essa deve ser utilizada em pequenas distâncias, fazendo com que as unidades de cogeração possuam tamanhos reduzidos [20].

## 2.4.2. Tecnologias que Utilizam Fontes Não Renováveis de Energia

### 2.4.2.1. Microturbinas a Gás

As microturbinas foram desenvolvidas a partir das turbinas utilizadas na indústria automobilística e na indústria aeroespacial, possuindo como característica a baixa potência. São encontradas no mercado microturbinas com potências de 30 kW a 250 kW. Estas microturbinas são utilizadas em diversas aplicações como, bombas, compressores e geradores de energia elétrica. As microturbinas a gás possuem como principais vantagens a baixa emissão de poluentes para a atmosfera, menores níveis de ruídos, poucas vibrações, dimensões reduzidas, apresentam baixo custo, poucas manutenções e podem ser instaladas em locais fechados ou abertos [21].

O funcionamento das microturbinas a gás é realizado por meio de um compressor e uma câmara de combustão. Inicialmente ocorre a entrada de ar para o compressor na temperatura ambiente, esse ar é comprimido e liberado para a câmara de combustão na temperatura de 400°C a 465°C. Na câmara de combustão ocorre a queima da mistura de ar comprimido e combustível, com a pressão constante e temperatura entre 1370°C e 1430°C. Em seguida, a mistura dos gases deixa a câmara de combustão e se expande na turbina. Os gases quentes na turbina são responsáveis por converter energia térmica em energia mecânica. A temperatura dos gases na saída da turbina é de 480°C a 640°C [21].

No mesmo eixo da turbina é conectado um gerador, o qual gera energia em alta frequência. Para que a tensão proveniente da microturbina seja compatível com a rede elétrica são utilizados conversores estáticos. A Figura 2.2 apresenta um desenho esquemático do funcionamento de uma microturbina a gás de ciclo simples e eixo simples.

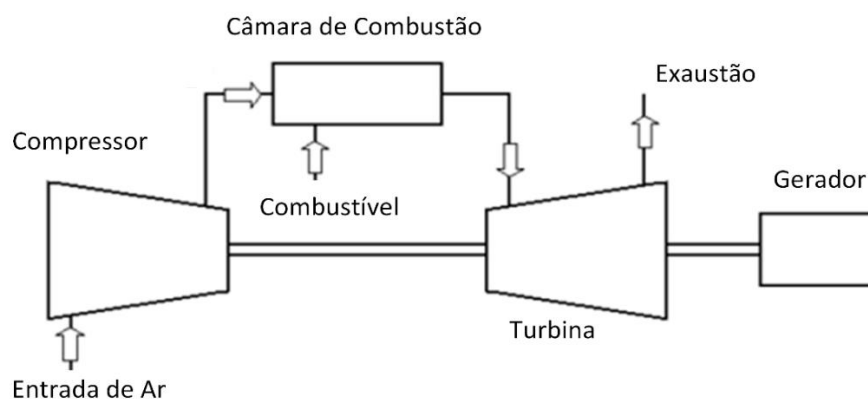


Figura 2.2 – Representação de uma microturbina a gás (Fonte: Adaptado de [11])

#### **2.4.2.2. Células a Combustível**

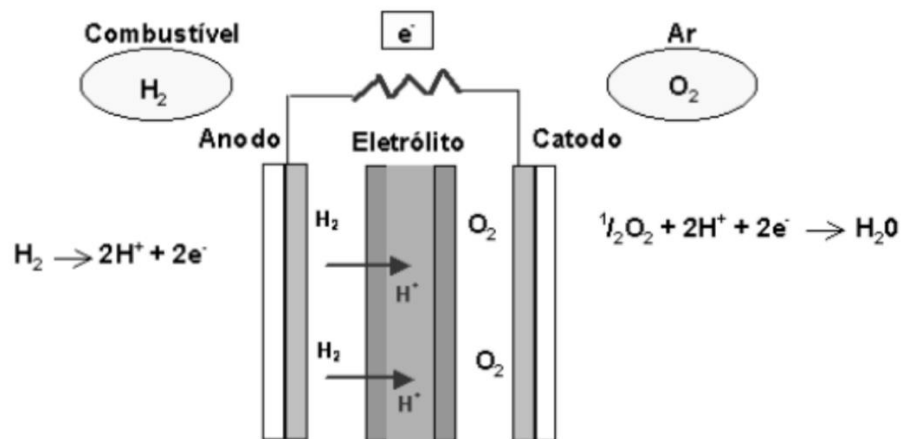
A célula a combustível converte diretamente energia química dos combustíveis em energia elétrica, se diferenciando de outros processos, como termelétricas, nas quais para geração de eletricidade o combustível é convertido inicialmente em energia térmica. Nas células a combustível, a energia elétrica é obtida utilizando o hidrogênio como combustível e o oxigênio como oxidante. A célula a combustível produz eletricidade enquanto for fornecido o combustível e o oxidante, hidrogênio e oxigênio, respectivamente. Essas células não armazenam internamente o combustível, assim, essas possuem uma vida útil elevada [11].

Uma célula a combustível possui uma estrutura formada por:

- Eletrólito: substância que permite a condução de íons positivos e íons negativos e não conduz elétrons;
- Catodo: consiste no eletrodo positivo da célula, no qual é fornecido o elemento oxidante, oxigênio ( $O_2$ );
- Anodo: representa o eletrodo negativo da célula, no qual é fornecido o combustível, hidrogênio ( $H_2$ );
- Catalisadores: são substâncias químicas, as quais não participam da reação e aumentam a velocidade da mesma. Não necessitam estarem presentes na célula combustível para o funcionamento desta, porém estão presentes na maioria das células.

Para a obtenção de energia elétrica com a utilização da célula combustível inicialmente é fornecido o oxigênio ( $O_2$ ) ao catodo e o hidrogênio ( $H_2$ ) ao anodo. O hidrogênio se desassocia no anodo liberando elétrons para o circuito e formando o íon positivo  $H^+$ . Com os elétrons livres há circulação desses do anodo para o catodo, formando a corrente elétrica. Os íons positivos de hidrogênio ( $H^+$ ) passam para o catodo através do eletrólito, estes íons reagem com o oxigênio ( $O_2$ ) já presente no eletrodo positivo e com os elétrons livres ( $e^-$ ) do circuito, formando água ( $H_2O$ ) [11].

As células a combustível apresentam como principal vantagem sua maior eficiência comparadas com tecnologias que utilizam combustíveis fósseis, uma vez que, ocorre a conversão direta da energia química em energia elétrica. Estas provocam menores impactos ambientais, devido ao resultante de sua reação não contribuir com a degradação do meio ambiente. A representação esquemática de uma célula a combustível pode ser observada na Figura 2.3.



Sendo:

H<sub>2</sub> - Hidrogênio

H<sup>+</sup> - Íon positivo de hidrogênio

e<sup>-</sup> - Elétron

O<sub>2</sub> - Oxigênio

H<sub>2</sub>O - Água

Figura 2.3 – Representação da célula a combustível (Fonte: Extraído de [11])

#### 2.4.2.3. Termelétricas com Combustíveis Fósseis

Os combustíveis fósseis se originaram há milhões de anos por meio da decomposição da matéria orgânica em determinadas condições de temperatura e pressão. São considerados recursos não renováveis devido não se renovarem na natureza com o tempo. A principal característica dos combustíveis fósseis é a elevada quantidade de carbono em sua composição, o que torna esse elemento excelente combustível. Os combustíveis fósseis são o petróleo, carvão mineral e o gás natural. Com o petróleo é obtido, por meio de processos específicos, o óleo diesel, o qual também é muito utilizado como combustível.

O carvão mineral, o óleo diesel e o gás natural são utilizados como combustíveis em termelétricas para a obtenção de energia elétrica. Nas termelétricas, o combustível é utilizado para aquecer a água nas caldeiras e transformá-la em vapor. O vapor em alta pressão é responsável por movimentar as pás da turbina. A turbina conectada no mesmo eixo do gerador gera a energia elétrica. Em seguida, o vapor é condensando e a água retorna para a caldeira, iniciando novamente o ciclo [22].

No Brasil, em julho de 2014, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica, estavam em operação 1356 usinas termelétricas operando com combustíveis fósseis (gás natural, óleo derivado de petróleo e carvão mineral) e produzindo 25315 MW de potência [5].

#### **2.4.2.4. Motores Alternativos de Combustão Interna**

Os motores são máquinas que possuem a finalidade de transformar qualquer forma de energia (como térmica, elétrica e hidráulica) em energia mecânica e são denominados de combustão interna devido o combustível ser queimado internamente nesses motores. Nos motores de combustão, a energia inicial a ser convertida em energia mecânica deve ser a energia térmica. Os combustíveis empregados nesses motores são o gás liquefeito de petróleo, o gás natural, o óleo diesel ou óleos pesados residuais.

Os motores alternativos de combustão interna são responsáveis por converter a energia química contida nos combustíveis em energia mecânica e, para se obter energia elétrica, esses são conectados a um gerador. Esses motores são amplamente utilizados há anos e possuem sua tecnologia muito desenvolvida [23].

Os motores alternativos de combustão interna estão presentes no mercado há muito tempo e apresentam grandes vantagens na sua utilização, como: opções no mercado de motores com várias potências; disponibilidade de combustíveis a preços menores; operam satisfatoriamente com carga parcial; são empregados como *back-up* em residências, comércios e indústrias; são também utilizados no horário de pico [23].

#### **2.4.2.5. Motores Stirling**

O motor Stirling é um motor térmico, o qual converte energia térmica em energia mecânica durante o seu funcionamento. Este é considerado um motor alternativo de combustão externa, devido não ocorrer combustão em seu interior e a fonte de calor necessária para o seu funcionamento ser obtida externamente ao motor. Podem ser utilizados como fonte para a energia térmica vários combustíveis, como os combustíveis fósseis ou a energia solar.

O motor Stirling possui o seu funcionamento baseado na expansão e contração de um gás (fluido de trabalho) dentro do seu interior, esse gás pode ser o ar, o gás hélio ou o hidrogênio. O gás permanece com volume constante e sempre dentro do motor Stirling. Quando o gás é aquecido pela fonte de calor externa, este absorve calor e se expande, em seguida, esse mesmo gás é resfriado e se comprime. Essa diferença de temperatura no gás é responsável pelo movimento do mesmo e do pistão. O virabrequim conectado ao pistão por meio da biela converte o movimento alternativo em rotativo. Assim, ao conectar um gerador nesse motor ocorrerá geração de energia elétrica [24].

Os motores Stirling têm sido desenvolvidos para a aplicação em diversas áreas, como: obtenção de energia elétrica (podendo operar com uma ampla oferta de combustíveis); coletores

solares (a radiação solar refletida nos coletores é utilizada para aquecer o fluído de trabalho); veículos (operam com pequenos níveis de ruído e vibrações) [23].

## **2.5. Considerações Finais**

Neste capítulo foram apresentadas as principais diferenças entre a geração centralizada e a geração distribuída, destacando que a geração centralizada são unidades com maior capacidade de potência e localizadas distante dos centros de consumo, enquanto a geração distribuída é formada por unidades com capacidade de potência menores e situadas próximas os consumidores finais. Também neste capítulo foram abordadas as diversas definições de geração distribuída constantes na literatura e as definições abordadas no Brasil pela Agência Nacional de Energia Elétrica.

As vantagens e desvantagens referentes à utilização da geração distribuída aos consumidores de energia elétrica, às distribuidoras e ao sistema interligado nacional também foram apresentadas neste capítulo. Uma das principais vantagens da geração distribuída é a possibilidade de operar com diversas fontes energéticas, contribuindo para diversificar a matriz energética do país e a desvantagem mais preocupante é o aumento da complexidade da operação do sistema elétrico, uma vez que, o fluxo de potência passa a ser bidirecional.

O presente capítulo expôs as tecnologias de geração de energia elétrica mais utilizadas em geração distribuída, acentuando as tecnologias que empregam fontes renováveis de energia e fontes não renováveis. A possibilidade de utilizar fontes renováveis de energia é um importante fator que atraem novos investimentos nesse tipo de geração, uma vez que, a preocupação com o fim dos recursos não renováveis é crescente.

# **CAPÍTULO 3**

---

## **LEGISLAÇÃO BRASILEIRA DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA**

### **3.1. Considerações iniciais**

O uso cada vez maior da energia elétrica na sociedade brasileira intensificou ao longo dos anos as atividades relacionadas com este recurso, como a geração, transmissão, distribuição e comercialização. Com o desenvolvimento crescente das atividades relacionadas ao setor energético foi necessária a elaboração de regulamentação específica, como leis, decretos e resoluções normativas, com o objetivo de padronizar as atividades realizadas nesse setor e assegurar um fornecimento contínuo e adequado de energia elétrica a todos os consumidores.

Com a preocupação constante com o meio ambiente e a busca por novas formas de se obter energia elétrica para atender ao aumento da demanda por esse recurso, a geração distribuída tem apresentado destaque no setor elétrico nacional e, como as demais atividades deste setor, a geração distribuída também precisou ser regulamentada para a sua correta utilização e inserção no sistema elétrico brasileiro.

Neste capítulo, serão apresentadas as principais leis que incentivaram a utilização da geração distribuída no país e contribuíram para a sua propagação e as leis atuais vigentes que regulamentam esse setor.

---

## **3.2. Incentivos à Geração Distribuída no Brasil**

Com a introdução da geração distribuída no sistema elétrico brasileiro houve uma mudança na forma tradicional de obtenção de energia no país. Este tipo de tecnologia influenciou diversas atividades do setor elétrico, sendo necessária a elaboração de regulamentação própria para reger sua operação no Brasil, como o desenvolvimento de leis e decretos. As regulamentações mais importantes elaboradas sobre a geração não centralizada no país serão brevemente citadas neste capítulo [25]. Dessa forma, as principais leis, decretos e resoluções normativas que foram elaboradas no Brasil a respeito de geração distribuída são:

Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996

Lei nº 9.648, de 27 de maio de 1998

Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002

Decreto nº 4.541, de 23 de dezembro de 2002

Lei nº 10.762, de 11 de novembro de 2003

Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004

Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004

Resolução Normativa nº 77, de 18 de agosto de 2004

Resolução Normativa nº 167, de 10 de outubro de 2005

Resolução Normativa nº 228, de 25 de julho de 2006

Resolução Normativa nº 284, de 16 de outubro de 2007

Resolução Normativa nº 345, de 16 de dezembro de 2008

Resolução Normativa nº 390, de 15 de dezembro de 2009

Resolução Normativa nº 391, de 15 de dezembro de 2009

Resolução Normativa nº 395, de 15 de dezembro de 2009

Resolução Normativa nº 424, de 17 de dezembro de 2010

Resolução Normativa nº 432, de 5 de abril de 2011

Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012

Resolução Normativa nº 517, de 11 de dezembro de 2012

Resolução Normativa nº 569, de 23 de julho de 2013

As leis e decretos de maior destaque, que incentivaram os produtores de energia elétrica a utilizarem a geração destruída, serão resumidamente descritas a seguir.



### **3.2.1. Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996**

A lei nº 9.427 de 1996 estabeleceu a criação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e apresentou as diretrizes para a concessão de serviços públicos de energia elétrica. Essa lei foi importante para a geração distribuída por estabelecer que a ANEEL concederia redução na tarifa de utilização dos sistemas de transmissão e distribuição para geração de energia elétrica provenientes de: pequenas centrais hidrelétricas com potência entre 1MW e 30 MW, destinadas à produção independente e autoprodução; hidrelétricas com potência igual ou inferior a 1MW; empreendimentos com utilização de fontes eólica, solar, biomassa e cogeração qualificada. Para ter acesso a redução na tarifa seria necessário que a potência despachada ao sistema fosse igual ou inferior a 30 MW [26].

A lei nº 9.427 também autorizou a comercialização de energia elétrica para consumidores ou conjunto de consumidores de empreendimentos de geração com potência igual ou inferior a 1 MW e com fontes solar, eólica e biomassa. Esses empreendimentos também poderiam injetar no sistema elétrico uma potência de até 50 MW para ter acesso a comercialização de sua energia [26]. Dessa forma, a redução na tarifa referente ao transporte de energia nos sistemas de transmissão e distribuição e a autorização para a comercialização da energia gerada por empreendimentos de baixa potência constituíram um dos primeiros incentivos para aumentar a geração distribuída no sistema elétrico nacional.

### **3.2.2. Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002**

A lei nº 10.438 de 2002 relatou sobre a oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, universalização do serviço público de energia elétrica, criação da Conta de Desenvolvimento Energético e o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa). O objetivo do Proinfa consistia em ampliar a geração de energia elétrica proveniente de produtores independentes autônomos, os quais utilizassem como fonte a energia eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas.

O Proinfa foi desenvolvido para ser realizado em duas etapas. Na primeira etapa do programa foi estabelecido a contratação de 3.300 MW de potência provenientes de geração eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas. Todos os contratos foram realizados pela Eletrobrás com período assegurado de 20 anos de compra da energia gerada. Para a contratação desses empreendimentos foi realizada uma chamada pública para cada fonte de geração específica e para a contratação da mesma foi necessário que os serviços e equipamentos

utilizados nos empreendimentos fossem, no mínimo, na primeira etapa do programa 75% nacionais e, na segunda etapa do programa, 90% nacionais [27].

A segunda etapa do Proinfa estabeleceu que a energia gerada pelas fontes eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas atendessem a 10% do consumo de energia elétrica nacional. A contratação da compra de energia elétrica foi realizada anualmente com cada produtor. O programa também definiu que a contratação de energia elétrica seria realizada de forma igual entre as fontes pertencentes ao Proinfa [27].

### **3.2.3. Lei nº 10.848, de 15 de março de 2004**

A lei nº 10.848 de 2004 definiu que a comercialização de energia elétrica seria realizada através de contratação regulada ou livre e estabeleceu as diretrizes necessárias para a comercialização de energia elétrica pelas concessionárias, permissionárias e autorizadas de serviços e instalações de energia elétrica [28].

A lei nº 10.848 foi importante para a geração distribuída por ser a primeira lei que menciona esta denominação na legislação brasileira. A presente lei estabeleceu que a energia elétrica proveniente de contratos das concessionárias, permissionárias ou autorizadas, geração distribuída, usinas pertencentes ao Proinfa, Itaipu Binacional, Angras 1 e 2, poderiam ser utilizadas para garantir o atendimento a todo o mercado consumidor das empresas de serviço público responsáveis pela distribuição de energia elétrica no Sistema Interligado Nacional (SIN) [28].

### **3.2.4. Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004**

O decreto nº 5.163 de 2004 estabeleceu as condições para a comercialização de energia elétrica, regulamentou o processo de outorga de concessões e de autorização de geração de energia elétrica. O decreto também apresentou as condições para a comercialização de energia elétrica no ambiente de contratação regulada e livre, especificando as diretrizes para a compra de energia elétrica por leilões, apresentou contratos de compra e venda de energia elétrica e relatou sobre o repasse de tarifas aos consumidores finais de energia elétrica. Neste decreto foram definidos pela ANEEL o ambiente de contratação regulada, ambiente de contratação livre, agente vendedor, agente de distribuição, agente autoprodutor [29].

O presente decreto foi de extrema importância para a geração distribuída por apresentar a definição desse termo. Assim, a geração distribuída no decreto nº 5.163 foi definida como empreendimentos de geração de energia elétrica conectados diretamente às instalações do

comprador, sendo essa geração proveniente de concessionária, permissionária ou autorizada, exceto usina hidrelétrica com capacidade superior a 30 MW e usina termelétrica com eficiência energética inferior a 75%. A energia elétrica contratada proveniente de geração distribuída deveria ser procedida de chamada pública e a quantidade máxima contratada deveria ser de 10% da carga do agente de distribuição [29].

### **3.2.5. Resolução Normativa nº 77, de 18 de agosto de 2004**

A resolução normativa nº 77 de 2004 foi importante para a ampliação da geração distribuída no setor elétrico nacional por determinar redução na tarifa de uso dos sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica por algumas fontes de geração. A ANEEL através desta resolução normativa determinou a redução de 50% nas tarifas de utilização dos sistemas de transmissão e distribuição para geração de energia elétrica proveniente de: hidrelétricas com potência igual ou inferior a 1 MW, pequenas centrais hidrelétricas, fonte solar, eólica, biomassa e cogeração qualificada. Para terem acesso à redução nessa tarifa foi necessário que a potência injetada no Sistema Interligado Nacional fosse igual ou menor que 30 MW [30].

A ANEEL também determinou a redução de 100% na tarifa de uso dos sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica para os empreendimentos com as seguintes características: pequenas centrais hidrelétricas com potência maior que 1 MW e igual ou inferior a 30 MW, as quais tiverem o início de sua comercialização entre 1 de outubro de 1999 a 31 de dezembro de 2003; geração de energia com fonte eólica, biomassa e cogeração qualificada que iniciaram suas atividades comerciais entre 23 de abril de 2003 a 31 de dezembro de 2003; centrais geradores que utilizarem no mínimo 50% de biomassa proveniente de resíduos sólidos urbanos, biogás de aterro sanitário, biodigestores de origem vegetal ou animal e material de estações de tratamento de esgoto [30].

A presente resolução normativa determinou 80% de desconto na tarifa de utilização dos sistemas de transmissão e de distribuição de energia elétrica para fontes solares, que iniciassem a comercialização de sua energia até 31 de dezembro de 2017. Esta redução de 80% na tarifa seria aplicada nos dez primeiros anos, após este período e para empreendimentos que entrarem em operação após 31 de dezembro de 2017 a redução na tarifa seria de 50%. A ANEEL também estabeleceu que os empreendimentos de geração que possuem concessão, autorização ou são destinados a registro para terem acesso à redução na tarifa de uso dos sistemas de transmissão e distribuição deveriam pedir autorização à ANEEL [30].

### **3.2.6. Resolução Normativa nº 167, de 10 de outubro de 2005**

A resolução normativa nº 167 de 2005 apresentou as diretrizes para a realização das atividades comerciais da energia elétrica proveniente de empreendimentos de geração distribuída. O agente de distribuição para efetivar a compra de energia elétrica de origem de geração distribuída deveria adquirir essa através de: processos de chamada pública para garantir a igualdade entre todos os interessados nesse processo; energia elétrica obtida por geração distribuída originada devido a desverticalização do setor elétrico, com contratos de comercialização registrados na Agência Nacional de Energia Elétrica e na Câmara de Comercialização de Energia Elétrica [31].

A presente resolução normativa estabeleceu que a energia elétrica contratada procedente de geração distribuída não poderia ultrapassar a quantidade de 10% da carga total do agente distribuidor, em relação a carga dos últimos 12 meses. Para os contratos realizados por meio de chamada pública, os preços foram atualizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística através do Índice de Preços ao Consumidor Amplo. Para a energia elétrica de geração distribuída proveniente de empreendimentos resultantes da desverticalização do setor elétrico, as tarifas foram estabelecidas pela ANEEL baseado na quantidade anual de MWh da geração distribuída [31].

### **3.2.7. Resolução Normativa nº 345, de 16 de dezembro de 2008**

A resolução normativa nº 345 de 2008 apresentou a aprovação dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST). O PRODIST é composto por uma cartilha de acesso ao sistema de distribuição e oito módulos, os quais são: introdução, planejamento da expansão do sistema de distribuição, acesso ao sistema de distribuição, procedimentos operativos do sistema de distribuição, sistemas de medição, informações requeridas e obrigações, cálculo de perdas na distribuição e qualidade da energia elétrica. O primeiro módulo é constituído pela Introdução, no qual são apresentadas todas as terminologias utilizadas nos demais módulos do PRODIST [32].

O segundo módulo, denominado Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição, determinou que as concessionárias de distribuição, através de medições, deveriam definir a carga de seus consumidores e o carregamento de redes e transformadores. Também foi definido que é função das distribuidoras efetuarem levantamentos de previsão de demanda. Nesse módulo, foi estabelecido que anualmente as distribuidoras deveriam encaminhar a ANEEL o Plano de Desenvolvimento da Distribuição, contendo: previsões de obras, no período de dez

anos para o sistema de distribuição de alta tensão e subestações de distribuição; para o período de cinco anos, as obras esperadas no sistema de distribuição de média e baixa tensão; relação de obras realizadas no ano anterior; avaliação criteriosa do ano anterior [32].

O módulo três, Acesso ao Sistema de Distribuição, determinou que para se ter acesso ao sistema de distribuição é necessário realizar a consulta de acesso, informações de acesso, solicitação de acesso e o parecer de acesso e, em seguida, é realizado o contrato de uso do sistema de distribuição. O módulo cinco, Sistema de Medição, definiu que as novas instalações ou a substituição de equipamentos existentes de medição deveriam considerar as especificações técnicas de cada subgrupo tarifário, o qual o consumidor se enquadra [32].

O módulo sete, Cálculo de Perdas na Distribuição, determinou que antes da revisão tarifária a concessionária de distribuição deve repassar à ANEEL a avaliação sobre a verificação das perdas no sistema de distribuição e deveria manter registradas esses dados por cinco anos. O módulo oito do PRODIST, Qualidade da Energia Elétrica, alterou alguns artigos apresentados na resolução normativa nº 024, de 27 de janeiro de 2000, resolução normativa nº 505, de 26 de novembro de 2001 e resolução normativa nº 520, de 17 de setembro de 2002 [32].

### **3.3. Legislação Vigente de Geração Distribuída no Brasil**

A legislação brasileira da geração distribuída é atualmente regida pela resolução normativa nº 482/2012, pela resolução que altera alguns itens da mesma, pelo módulo três do PRODIST e pelas normas específicas de cada concessionária de distribuição de energia elétrica. Dessa forma, este item tem como principal objetivo apresentar detalhadamente as legislações atuais que regulamentam a geração distribuída no Brasil.

#### **3.3.1. Resolução Normativa nº 482, de 17 de Abril de 2012**

A resolução normativa (REN) nº 482/2012 rege atualmente a geração distribuída no Brasil. Esta foi elaborada pela Agência Nacional de Energia Elétrica, após a realização da consulta pública nº 015/2010 e da audiência pública nº 042/2011. A consulta pública foi realizada no período de 10 de setembro a 9 de novembro de 2010 [33] e a audiência pública foi realizada entre 11 de agosto a 14 de outubro de 2011 [34], ambas tinham como objetivo adquirir colaboração de interessados e da sociedade sobre as barreiras existentes para a implantação de geração distribuída no país e também sobre a regulação da mesma.

### **3.3.1.1. Disposições Preliminares da REN 482/2012**

A resolução normativa tem como finalidade estabelecer os conceitos de microgeração distribuída, minigeração distribuída, apresentar o funcionamento do sistema de compensação e também de estabelecer um parâmetro para a realização do acesso desses empreendimentos ao sistema de distribuição. Inicialmente a resolução apresenta a definição de microgeração distribuída e minigeração distribuída, como sendo:

Microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 100 kW e que utilize fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras; Minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 100 kW e menor ou igual a 1 MW para fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. (Agência Nacional de Energia Elétrica, *Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012*, 2012, p.1)

A resolução nº 482/2012 também apresenta o conceito de sistema de compensação de energia elétrica, sendo definido como:

Sistema de compensação de energia elétrica: sistema no qual a energia elétrica ativa injetada por unidade consumidora com microgeração distribuída ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa dessa mesma unidade consumidora ou de outra unidade consumidora de mesma titularidade da unidade consumidora onde os créditos foram gerados, desde que possua o mesmo Cadastro de Pessoa Física (CPF) ou Cadastro

de Pessoa Jurídica (CNPJ) junto ao Ministério da Fazenda.  
(Agência Nacional de Energia Elétrica, *Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012*, 2012, p.2)

#### **3.3.1.2. Acesso aos Sistemas de Distribuição**

Com essa resolução é determinado que as concessionárias de distribuição de energia elétrica devem elaborar normas técnicas ou modificar normas existentes para contemplar o acesso ao sistema elétrico de distribuição de microgeradores e minigeradores distribuídos. Para a devida confecção dessas normas deve-se orientar pelo PRODIST em seu módulo três e por outras normas técnicas podendo ser brasileiras ou estrangeiras. As concessionárias de distribuição devem disponibilizar as normas técnicas referentes ao acesso de microgeradores e minigeradores distribuídos em seus *sites*, em no máximo 240 dias após a publicação desta resolução normativa.

Segundo alteração da resolução normativa nº 482/2012, pela resolução nº 517/2012, aos empreendimentos de microgeração e minigeração distribuída, que aderirem ao sistema de compensação de energia elétrica, não é necessário efetuar o contrato de uso e conexão, devendo realizar apenas o Acordo Operativo ou o Relacionamento Operacional para, respectivamente, minigeradores e microgeradores distribuídos [35].

Ficou inserido na REN 482/2012, por meio da resolução nº 517/2012, que para os empreendimentos inseridos no sistema de compensação de energia elétrica, a potência do microgerador e do minigerador distribuído é baseada, para os consumidores do grupo A, na carga instalada e para os consumidores do grupo B na demanda contratada. Para os empreendedores que desejarem aumentar sua energia elétrica ativa injetada no sistema elétrico devem para os consumidores do grupo A e B, respectivamente, aumentar a potência instalada e aumentar a demanda contratada [35].

Os possíveis custos para realizar a conexão ao sistema de distribuição dos microgeradores e minigeradores distribuídos que participem do sistema de compensação é de responsabilidade da concessionária de distribuição [9].

#### **3.3.1.3. Sistema de Compensação de Energia Elétrica**

A energia elétrica ativa injetada no sistema elétrico pelos microgeradores e minigeradores distribuídos participantes do sistema de compensação de energia elétrica, é cedida às distribuidoras em forma de empréstimo. Os empreendimentos de geração podem utilizar essa energia emprestada para compensar seu consumo, em um período de trinta e seis

meses. O sistema de compensação de energia elétrica contempla apenas os microgeradores e minigeradores distribuídos, excluindo os consumidores livres e especiais.

Para as unidades consumidoras participantes do sistema de compensação de energia elétrica, nas faturas de energia elétrica deve constar no mínimo os custos relativos a disponibilidade de energia elétrica e a demanda contratada para, respectivamente, consumidores do grupo A e B. A energia elétrica ativa a ser faturada é a diferença entre a quantidade de energia elétrica ativa consumida pela unidade consumidora e a injetada no sistema elétrico, por posto tarifário. Quando a energia injetada for superior a energia consumida, a diferença é utilizada para a compensação dos meses seguintes no mesmo ciclo de faturamento.

A quantidade de energia elétrica ativa injetada no sistema quando for superior ao consumo da unidade consumidora também pode ser utilizada para compensar a energia consumida em outras unidades consumidoras previamente cadastradas com essa finalidade. Essas novas unidades consumidoras devem pertencer ao mesmo proprietário da unidade consumidora principal, inscrito com o mesmo Cadastro de Pessoa Física ou Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica, e também ser atendida pela mesma concessionária de distribuição de energia elétrica. As unidades consumidoras devem ser cadastradas com uma ordem de prioridade para a compensação da energia, sendo necessário que a unidade a qual possui a geração seja considerada a primeira.

A compensação da energia elétrica deve ser realizada primeiramente no mesmo posto tarifário que ocorreu a geração, caso ainda haja energia injetada no sistema a ser compensada, pode ser utilizado outro posto tarifário, sempre respeitando a tarifa cobrada por cada um dos postos tarifários. Realizados todos os procedimentos apresentados para a compensação da energia elétrica ativa injetada no sistema, a mesma ainda existindo após trinta e seis meses é cancelada, não podendo ser mais utilizada para compensação [9].

#### **3.3.1.4. Medição de Energia Elétrica**

O sistema de medição de energia elétrica para a realização do sistema de compensação deve ter os seus custos financiados pela unidade consumidora. Os custos desse sistema de medição é a diferença entre um sistema de medição convencional utilizado em unidades consumidoras atendidas no mesmo nível de tensão e os custos referentes ao equipamento específico para as medições de compensação de energia elétrica.

Após realizada a instalação dos equipamentos de medição, a concessionária de distribuição é responsável pela operação, manutenção e possível substituição do mesmo. As



medições para a compensação da energia elétrica ativa devem iniciar após aprovado o ponto de conexão [9].

#### **3.3.1.5. Responsabilidades por Danos ao Sistema Elétrico**

A resolução determina que as responsabilidades por danos ao sistema elétrico provenientes da microgeração distribuída e minigeração distribuída devem seguir o exposto na resolução normativa nº 414/2010 em seu artigo 164 e 170. A resolução nº 482/2012 menciona que para as unidades de microgeração e minigeração distribuída que tiverem alguma irregularidade com as normas vigentes, não poderão participar do sistema e compensação de energia elétrica.

O artigo 164 da REN 414/2010 determina que se houver danos ao sistema elétrico e/ou a equipamentos e instalações de terceiros, provocados por carga ou geração de microgeração e minigeração distribuída, estes devem arcar com as despesas relativas aos danos. O artigo 170, também desta resolução, estabelece que a microgeração e minigeração distribuída devem parar o seu fornecimento de energia elétrica se houver falhas técnicas ou riscos as instalações elétricas, às pessoas e ao funcionamento do sistema elétrico. O fornecimento de energia deverá ser suspenso se a geração não seguir as normas da concessionária de distribuição local [36].

#### **3.3.1.6. Disposições Gerais da REN 482/2012**

É determinado na resolução nº 482/2012 que as concessionárias de distribuição de energia elétrica devem coletar os dados das unidades de microgeração e minigeração distribuída para envio à ANEEL. Os dados solicitados pela ANEEL se encontram em anexos nas resoluções normativas nº 390/2009 e nº 391/2009.

### **3.3.2. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST**

Os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST) também são referências para a implantação da geração distribuída no país, a utilização deste é indicado na resolução normativa nº 482/2012, conforme descrito anteriormente. O PRODIST consiste de documentos desenvolvidos pela ANEEL com contribuição de diversos segmentos do setor elétrico. Esses documentos apresentam as condições de acesso ao sistema de distribuição e garante o repasse de informações das condições do sistema elétrico à ANEEL. Neste, há uma seção destinada exclusivamente à

microgeração e minigeração distribuída, seção 3.7, denominada de Acesso de Microgeração e Minigeração Distribuída, contida no módulo 3, Acesso ao Sistema de Distribuição.

O módulo 3 tem como finalidade definir um padrão para o acesso ao sistema de distribuição. Este módulo deve ser seguido para o correto acesso ao sistema de distribuição por agentes de distribuição, consumidores de energia elétrica, centrais geradoras, agentes importadores de energia, agentes exportadores de energia e por consumidores que participam do sistema de compensação de energia elétrica, como os microgeradores e minigeradores distribuídos [37].

O módulo 3 é dividido em sete seções [37], as quais são:

- Seção 3.1 - Procedimentos de Acesso: abrange as etapas relativas à obtenção do acesso, como consulta, informação, solicitação e parecer de acesso;
- Seção 3.2 - Critérios Técnicos e Operacionais: exibe os requisitos para a execução do projeto de acesso ao sistema de distribuição, como a possibilidade de ampliação do sistema da distribuidora, paralelismo dos geradores de energia, compartilhamento da estrutura de conexão e possível necessidade de reconfiguração das barras na subestação;
- Seção 3.3 - Requisitos de Projeto: aborda as orientações relativas à preparação do projeto e instalação da conexão. Para essas atividades, o consumidor deve seguir as normas da distribuidora e da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas);
- Seção 3.4 - Implantação de Novas Conexões: apresenta os requisitos necessários para realizar a implementação, inspeção, ensaios e vistoria de novas conexões no sistema elétrico de distribuição;
- Seção 3.5 - Requisitos para Operação, Manutenção e Segurança da Conexão: expõe as instruções referentes à operação, manutenção, segurança da conexão, desconexão e reconexão de instalações ao sistema, aborda as responsabilidades da distribuidora e do consumidor e apresenta as diretrizes para a elaboração do acordo operativo;
- Seção 3.6 - Contratos: expressa as diretrizes que devem constar nos contratos entre as concessionárias de distribuição e os consumidores, sempre enfatizando as condições técnicas e comerciais. Apresenta o modelo de Contrato de Conexão às Instalações de Distribuição e Contrato de Uso do Sistema de Distribuição;

- Seção 3.7 - Acesso de Microgeração e Minigeração Distribuída: aborda o acesso de microgeração e minigeração distribuída ao sistema elétrico de distribuição.

A seção 3.7, intitulada Acesso de Microgeração e Minigeração Distribuída, tem como principal objetivo apresentar um padrão a ser seguido para a realização do acesso de microgeração e minigeração distribuída ao sistema de distribuição de energia elétrica. Todo o conteúdo apresentado nessa seção será detalhado a seguir.

#### **3.3.2.1. Etapas para Viabilização do Acesso**

A viabilização do acesso para microgeração e minigeração distribuída é realizada obrigatoriamente por meio de solicitação de acesso e parecer de acesso e também pode ser realizada a consulta de acesso.

A consulta de acesso consiste em obter dados da distribuidora que possibilitem estudos sobre a implantação do empreendimento pelo acessante, podendo este acessante ser um consumidor, central geradora, distribuidora de energia elétrica, agente importador ou exportador de energia. Esta consulta é facultativa no processo de realização do acesso ao sistema de distribuição, mas uma vez feita deve ser acompanhada da informação de acesso. Esta consiste na resposta da distribuidora ao acessante referente à consulta realizada.

A solicitação de acesso, etapa necessária, consiste em documentos com o detalhamento do projeto de instalação da conexão e o pedido de acesso ao sistema de distribuição, realizado pelo acessante e submetido à distribuidora. Na solicitação deve constar, adicionalmente aos dados do projeto de instalação, o memorial descritivo, localização da instalação, arranjo físico, diagramas e documentos que a distribuidora possa solicitar. Todos os documentos necessários para a solicitação de acesso devem ser disponibilizados pelas distribuidoras em seu endereço eletrônico.

O parecer de acesso também é um documento obrigatório, o qual é emitido pela distribuidora informando ao acessante os dados necessários para efetivação da mesma no sistema de distribuição. Neste documento, devem ser apresentadas as seguintes informações: características dos locais possíveis para o acesso, custos das obras, cronograma de realização das obras, tipos de terreno, faixas de passagem, requisitos técnicos, sistema de proteção, condições do sistema de distribuição no local, tensão nominal do sistema, responsabilidades do acessante e modelos de contratos para participação no sistema de compensação de energia elétrica.

Após realizada a solicitação de acesso, o parecer de acesso deve ser encaminhado em 30 dias, com exceção de empreendimentos de minigeração distribuída que necessite de obras no sistema de distribuição, sendo o seu prazo de 60 dias. Com a realização do parecer de acesso, a distribuidora e o acessante possuem um prazo de 60 dias para celebração dos contratos de acesso. Neste período são garantidos o ponto de acesso e as condições apresentadas pela distribuidora, e se for esgotado esse prazo, deve ser iniciado um novo processo [37].

#### **3.3.2.2. Critérios Técnicos e Operacionais**

O ponto de conexão consiste em equipamentos que interligam as instalações da distribuidora e do acessante ao sistema elétrico da mesma. Os estudos de conexão para microgeração e minigeração distribuída são realizados pela concessionária de distribuição apenas se forem necessários os mesmos, sem nenhum custo para o acessante.

No estudo para a conexão deve ser abordado: a frequência da conexão (deve ser em 60 Hz); o sincronismo do acessante com a distribuidora não deve causar danos as partes envolvidas, a terceiros, ao sistema elétrico e às pessoas encarregadas de manutenção e operação; para o paralelismo do acessante com a distribuidora dever ter um sistema de comunicação entre estes; a sincronização é de responsabilidade do acessante; a proteção deve ser realizada pelo acessante para retirar o paralelismo se ocorrer algum desligamento [37].

#### **3.3.2.3. Requisitos de Projetos**

Os projetos das instalações de conexão devem ser realizados respeitando as normas técnicas da concessionária de distribuição, a qual se pretende acessar. No projeto deve constar um memorial descritivo com as informações do acessante e todos os documentos utilizados para a elaboração do mesmo devem estar como referência no documento.

Para a elaboração do projeto deve ser considerado o carregamento e a previsão de aumento da carga das linhas e redes. Os cálculos elétricos e o projeto mecânico devem ser feitos utilizando como referência as normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) e em casos específicos as orientações da distribuidora. No projeto também deve constar a designação de todos os materiais e equipamentos envolvidos no mesmo.

No projeto de subestações deve conter as especificações técnicas dos equipamentos, obras civis e do sistema de proteção. No projeto também devem constar: posição dos condutores; arranjo de barras entre a distribuidora e o acessante; distância de segurança objetivando o bem estar de pessoas e equipamentos; as linhas e redes devem possuir religadores ou disjuntores; nos circuitos de entrada deve haver seccionadores; deve constar para-raios nas

subestações; os transformadores de instrumentos devem ser escolhidos conforme os equipamentos; para a proteção deve constar no mínimo relés temporizados e instantâneos de sobrecorrente de fase e neutro; a subestação deve ser equipada com serviços auxiliares de corrente alternada e/ou contínua; o sistema de aterramento deve ser elaborado respeitando as normas da distribuidora.

O nível de tensão da unidade de microgeração e minigeração distribuída é definido no projeto pela distribuidora dependendo da potência da unidade de geração. Assim os níveis de tensão possíveis são:

- Potência instalada menor que 10 kW: baixa tensão, podendo ser monofásico, bifásico ou trifásico;
- Potência instalada entre 10 kW e 100 kW: baixa tensão trifásica;
- Potência instalada entre 101 kW e 500 kW: baixa tensão trifásica ou média tensão;
- Potência instalada entre 501 kW e 1 MW: média tensão.

Para o ponto de conexão da unidade de microgeração e minigeração distribuída, o módulo 3 apresenta as características mínimas que esta conexão deve ter em função do seu nível de potência instalada. Essas características serão expostas a seguir:

- Potência instalada menor ou igual a 100 kW: elemento de desconexão (chave seccionadora), elemento de interrupção, proteção de sub e sobretensão, proteção de sub e sobrefrequência, relé de sincronismo, proteção anti-ilhamento, sistema de medição bidirecional e ensaios dos fabricantes dos equipamentos adquiridos.
- Potência instalada entre 101 kW e 500 kW: elemento de desconexão (chave seccionadora), elemento de interrupção, transformador de acoplamento, proteção de sub e sobretensão, proteção de sub e sobrefrequência, relé de sincronismo, proteção anti-ilhamento, estudo de curto-circuito, medidor de quatro quadrantes e ensaios dos fabricantes dos equipamentos adquiridos.
- Potência instalada entre 501 kW e 1 MW: elemento de desconexão (chave seccionadora), elemento de interrupção, transformador de acoplamento, proteção de sub e sobretensão, proteção de sub e sobrefrequência, proteção contra desequilíbrio de corrente, proteção contra desbalanço de tensão, relé de sobrecorrente direcional, relé de sobrecorrente com restrição de tensão, relé de sincronismo, proteção anti-ilhamento, estudo de curto-circuito, medidor de quatro quadrantes e ensaios dos fabricantes dos equipamentos adquiridos.

Para as unidades de geração que utilizam inversores de frequência é possível ajustar nestes equipamentos as funções de proteção, sendo desnecessário o acréscimo de relés. As unidades de minigeração distribuída que desejarem adicionar proteção a sua instalação devem justificar a utilização da mesma para a distribuidora [37].

#### **3.3.2.4. Implantação de Novas Conexões**

A implantação de novas conexões consiste em acompanhar as etapas de implantação, desenvolvimento e aprovação dessas conexões, estabelecendo os critérios para todas as etapas da mesma. O acessante que possuir acesso exclusivo ao sistema de distribuição tem como responsabilidade desenvolver o projeto para a conexão com aprovação da distribuidora, realizar as obras civis, montar os equipamentos e efetuar comissionamento com a distribuidora presente. Para as conexões sem exclusividade é dever do acessante indicar qual a sua opção de obra para a conexão em 30 dias após receber da distribuidora o orçamento das obras e, se for utilizar terceiros para a execução das obras, a distribuidora deve aprovar o projeto dessas.

Na implantação de novas conexões é de responsabilidade da distribuidora: analisar os projetos dos acessantes para aprovação; apresentar orçamento das obras de conexão aos acessantes; fornecer aos acessantes normas técnicas; realizar obras em seu sistema para possibilitar a conexão dos acessantes; realizar vistorias nas obras de conexão e emitir relatório no máximo em 30 dias ao acessante após o pedido de vistoria; aprovar a conexão para funcionamento em 7 dias após feitas todas as medidas solicitadas no relatório de vistoria; realizar a conexão do acessante em 3 dias úteis para conexão em baixa tensão e urbana, 5 dias úteis para conexão em baixa tensão rural e 10 dias úteis para conexão em média tensão [37].

Para realizar o processo de receber o ponto de conexão são necessárias quatro etapas, sendo a inspeção, ensaios, vistoria e aprovação. Na etapa de inspeção da conexão, a distribuidora verifica se os procedimentos requeridos no parecer de acesso foram realizados. Na etapa de ensaio dos equipamentos do ponto de conexão o acessante deve pedir por escrito à distribuidora, com justificativas técnicas, a permissão para a realização dos ensaios. Para a solicitação dos ensaios, os responsáveis devem informar: tipo de ensaios, período a ser realizado, relação dos equipamentos que serão submetidos aos ensaios, situação necessária do sistema para os ensaios, detalhes de possíveis danos que podem ocorrer às pessoas e equipamentos.

Os responsáveis pelas realizações dos ensaios devem ser informados à distribuidora juntamente com o relatório detalhado dos procedimentos adotados e estes devem ser procedidos de acordo com as normas técnicas nacionais ou internacionais. Os ensaios possuem seus custos

arcados pelo acessante, assim como, qualquer dano causado ao sistema elétrico, sendo que a distribuidora é responsável por disponibilizar as condições mais favoráveis para os ensaios, com o objetivo de diminuir os custos. Os resultados dos ensaios devem ser disponíveis ao acessante e a distribuidora.

A etapa de vistoria tem como finalidade realizar testes e ensaios dos equipamentos e do sistema de conexão. Com a vistoria deve ser elaborado um relatório contendo as seguintes informações: resultado dos testes e ensaios, detalhamento da situação final do ponto de conexão, se forem empregados equipamentos corretivos durante os testes os resultados destes também devem ser informados, em caso de haver pendências é necessário a descrição destas e esboços do ponto de conexão. Em caso de ocorrer pendências na vistoria, o acessante deve solicitar nova vistoria após regularizar as mesmas. A aprovação do ponto de conexão é fornecida após sanadas as pendências indicadas na vistoria [37].

#### **3.3.2.5. Requisitos para Operação, Manutenção e Segurança da Conexão**

A norma também aborda as atribuições da distribuidora e do acessante referentes à operação e manutenção, objetivando a segurança das pessoas, dos equipamentos e do sistema elétrico. O fornecimento de todos os elementos essenciais para o funcionamento do ponto de conexão como, supervisão, controle, comunicação e medição, é de responsabilidade do acessante, o qual deve seguir as normas da distribuidora para disponibilizar corretamente esses itens. As responsabilidades da distribuidora e acessante referentes a operação do ponto de conexão são definidas no Acordo Operativo.

O acordo operativo deve abordar as seguintes diretrizes: as características do ponto de conexão; apresentar as condições para a realização das manutenções; requisitos para a unidade operar ilhada quando autorizado; especificação dos meios de comunicação entre distribuidora e acessante; relatar o nome dos autorizados a realizarem a troca de informações; em caso de distúrbios no ponto de conexão provenientes da distribuidora ou acessante, deve ser investigado para estabelecer o responsável.

Para a realização da manutenção da conexão devem ser respeitadas as normas da distribuidora, recomendações dos fabricantes dos equipamentos, normas nacionais ou internacionais. Nas diretrizes para manutenção devem constar informações para inspeção programada e aleatória, manutenção corretiva, preventiva, preditiva e em linha viva. O acessante deve operar de forma a evitar qualquer dano ao sistema elétrico proveniente de sua geração.

As principais diretrizes que devem ser consideradas para realizar atividades no ponto de conexão são: normas de comunicação; aterramento do equipamento ou instalação em que será realizado o serviço; chaves de manobra; tensões de toque e de passo; distância de segurança; regras de acesso e circulação; sinalização; normas de combate a incêndio; iluminação de emergência e segurança para trabalhos em vias públicas. Para a operação ilhada, quando autorizada, o acessante deve adotar procedimentos que evitem danos a pessoas e ao sistema elétrico. Os procedimentos de segurança também devem abordar as precauções relativas a vândalos e invasores.

A distribuidora pode desconectar o acessante do sistema elétrico imediatamente ou de forma preventiva. Esta interrupção ocorre quando for detectado irregularidades na unidade geradora ou se apresentar riscos a pessoas, a equipamentos, ao sistema elétrico ou a terceiros. Com a interrupção, a distribuidora deve enviar em 30 dias ao acessante um documento justificando esse procedimento e guardar uma cópia do mesmo por um período de 60 meses para fiscalização.

A distribuidora, com a interrupção, pode requerer do acessante: aquisição de equipamentos corretivos; pagamento aos custos referentes as obras no sistema elétrico devido aos distúrbios ocorridos, sendo a distribuidora responsável por informar ao acessante o detalhamento das obras, custos e cronograma das mesmas; pagamento à distribuidora relativo a despesas desta com danos causados a terceiros [37].

#### **3.3.2.6. Sistema de Medição**

As normas para implantação do sistema de medição em microgeração e minigeração distribuída consistem nas mesmas que regem o sistema de medição para unidades consumidoras com o mesmo nível de tensão, incluindo apenas a medição bidirecional, objetivando medir a energia elétrica ativa gerada e a consumida. Em unidades de geração de baixa tensão é permitido o emprego de dois medidores unidirecionais, sendo um para medir a energia elétrica ativa gerada e o outro para medir a consumida.

As distribuidoras que tiverem gastos para adequar o sistema de medição da unidade consumidora, devem ser ressarcidas pelos acessantes. A distribuidora é a responsável pela instalação dos medidores, operação, manutenção e possíveis trocas dos equipamentos. Após a instalação dos medidores é iniciado imediatamente o sistema de compensação de energia elétrica ativa [37].



### **3.3.2.7. Contratos**

O contrato necessário para a minigeração distribuída que participa do sistema de compensação de energia elétrica é o Acordo Operativo e, para a microgeração distribuída, que também participa do sistema de compensação, é o Relacionamento Operacional [37].

No Acordo Operativo deve constar as seguintes informações:

- Estrutura de operação entre os agentes: deve-se informar os responsáveis da distribuidora e acessante destinados às atividades de coordenação, supervisão, controle e comando do ponto de conexão. É necessário informar os nomes dos responsáveis pela troca de informações entre a distribuidora e o acessante e identificar como será realizada essa troca de informação.
- Codificação de equipamentos e sistema de distribuição: especificação dos equipamentos e do sistema de distribuição, como chaves, disjuntores, pontos de conexão e subestação se existentes, com a finalidade de garantir a segurança na operação entre a distribuidora e o acessante.
- Meios de comunicação: deve-se apresentar a forma que será realizada a comunicação entre a distribuidora e o acessante.
- Fluxo de informações: especificação dos procedimentos para o intercâmbio de informações entre a distribuidora e o acessante necessárias para a realização das atividades operacionais.
- Definição de intervenções e desligamentos: desenvolver o conceito de intervenção e desligamento no ponto de conexão.
- Procedimentos operacionais: deve-se relatar precisamente os processos de operação do ponto de conexão. É necessário descrever as seguintes informações: coordenação operacional; responsáveis pela operação; normas para os funcionários acessarem as instalações do ponto de conexão; processos para a informação das atividades em ocorrência; requisitos para programar intervenções em equipamentos, nas instalações do ponto de conexão e central geradora; normas para verificação do sistema de comunicação; especificações para realizar o ilhamento; processos para verificação das perturbações ocorridas.
- Solicitação de intervenção no sistema: apresentar as informações necessárias para realizar a programação da intervenção no sistema de conexão e todos os requisitos necessários para acompanhar essa atividade em tempo real.

- Segurança do pessoal durante atividades com equipamentos energizados: apresentar as normas e especificações para a realização de atividades com equipamentos energizados objetivando a segurança das equipes de trabalho envolvidas.
- Responsabilidades com a operação e manutenção: deve-se apresentar as responsabilidades sobre a operação e manutenção do ponto de conexão.
- Data e assinatura: o acordo operativo deve ser datado e assinado pelos representantes da distribuidora e do acessante.
- Documentos anexos: no acordo operativo deve ser anexado a relação de pessoal credenciado da distribuidora e do acessante, diagrama unifilar das instalações da distribuidora e acessante, com destaque para o ponto de conexão, identificação dos pontos de conexão, equipamentos, instalações, desenhos, diagramas elétricos e operativos, parâmetros elétricos das instalações, limites de responsabilidade, agrupamento de pontos de conexão, descrição do ponto de conexão, normas e instruções de segurança.

Para a microgeração distribuída, o contrato estabelecido é o Relacionamento Operacional, no qual são abordadas as seguintes informações:

- Objetivo: são apresentados os objetivos do contrato, identificam-se as partes envolvidas (distribuidora e acessante) e faz referência à norma vigente relacionada a geração distribuída.
- Prazo de vigência: o contrato tem prazo de 12 meses e para empreendimentos que forem necessários investimentos da distribuidora para atender ao acessante, a primeira vigência do contrato pode ter um prazo de 24 meses. O contrato é prorrogado automaticamente por mais 12 meses se o acessante não se manifestar contra, em um período de 180 dias antes do término da vigência. O prazo de vigência do contrato e a sua prorrogação também podem ser determinados de comum acordo entre a distribuidora e o acessante.
- Abrangência: estabelece que o Relacionamento Operacional é realizado para interconectar a microgeração distribuída ao sistema elétrico de distribuição e apresenta a definição da ANEEL de microgeração distribuída.
- Estrutura de relacionamento operacional: deve-se estabelecer os responsáveis da distribuidora e acessante pelas atividades de coordenação, supervisão, controle e comando das instalações de conexão. Neste contrato deve-se registrar os nomes

dos responsáveis por essas atividades, assim como, seus respectivos meios de contato.

- Sistema de microgeração distribuída: descreve as características do tipo de geração utilizada, das instalações do ponto de conexão, o nível de tensão, a capacidade instalada de potência e condições de acesso para a manutenção.
- Responsabilidades no Relacionamento Operacional: a distribuidora indicará ao acessante as funções de coordenação, supervisão da operação, intervenções e desligamentos que podem ocorrer no sistema de distribuição. Para as situações de intervenção e interrupção, a distribuidora e o acessante devem disponibilizar ações para diminuir o tempo desses eventos.
- Condições de segurança: a distribuidora é responsável por fornecer ao acessante as informações e normas referentes à segurança das equipes de trabalho em equipamentos desenergizados objetivando a segurança das pessoas e terceiros. Os trabalhos com equipamentos desenergizados no ponto de conexão ou do sistema necessitam de prévia autorização da distribuidora.
- Desligamento da interconexão: a distribuidora interromperá a interconexão com o acessante se a geração deste fornecer energia elétrica fora dos padrões de qualidade ou apresentar riscos a pessoas e ao sistema elétrico. Caso ocorra o desligamento, o proprietário da microgeração distribuída deve ser notificado e providenciar as medidas para retomar a conexão.
- Data e assinatura: o contrato de Relacionamento Operacional deve ser datado e assinado pelos representantes da distribuidora e da microgeração distribuída.

### **3.4. Considerações Finais**

O presente capítulo apresentou inicialmente os principais fatores que motivaram a elaboração das normas referentes ao setor elétrico nacional, como a necessidade de padronização das atividades do setor elétrico para assegurar a operação adequada de todas as atividades relacionadas a este setor e também o melhor atendimento de energia elétrica aos consumidores. Com a introdução da geração distribuída na matriz energética nacional também foi observado a carência de normas específicas para reger essa nova forma de geração de energia elétrica, a qual se expandiu no país.

Assim, neste capítulo foram apresentadas as normas referentes à geração distribuída no Brasil, as quais foram de extrema importância no país por incentivarem a adoção desse tipo de geração na matriz energética nacional. As leis, decretos e resoluções normativas que tiveram maior contribuição para a expansão da geração distribuída no Brasil foram sucintamente apresentadas, destacando suas contribuições para esse tipo de geração. Das leis discutidas, aquela que merece maior destaque é a lei nº 10.848/2004, por ser a primeira lei brasileira a citar o termo geração distribuída e o decreto nº 5.163/2004 por conceituar esse termo.

A legislação vigente sobre geração distribuída no Brasil também foi apresentada neste capítulo, ressaltando que as principais instruções desse tipo de geração são regidas pela resolução nº 482/2012, a qual estabelece inicialmente os conceitos de microgeração distribuída e minigeração distribuída. Esta resolução também apresentou o conceito de sistema de compensação de energia elétrica para os empreendedores de geração distribuída. Neste capítulo também foram detalhadas as especificações contidas no módulo três do PRODIST, o qual possui uma seção exclusiva abordando as diretrizes que devem ser seguidos para a realização do acesso de microgeração e minigeração distribuída ao sistema de distribuição de energia elétrica.

# CAPÍTULO 4

---

## **NORMAS TÉCNICAS E PERSPECTIVAS FUTURAS**

### **4.1. Considerações Iniciais**

No Brasil, a resolução normativa nº 482/2012 estabelece que as distribuidoras de energia elétrica devem elaborar e disponibilizar em seus endereços eletrônicos normas técnicas referentes ao acesso de microgeração e minigeração distribuída em seus sistemas elétricos de distribuição. Dessa forma, este capítulo apresentará algumas normas técnicas de distribuidoras brasileiras de energia elétrica e também de estrangeiras para realizar uma comparação entre essas. Em seguida, o presente capítulo descreve as perspectivas futuras para a legislação sobre geração distribuída no Brasil.

### **4.2. Normas Técnicas Brasileiras**

Segundo a Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica (ABRADEE), em outubro de 2014, o país apresentava 64 distribuidoras de energia elétrica. As normas técnicas para o acesso de microgeração e minigeração distribuída ao sistema elétrico disponibilizadas pelas principais distribuidoras brasileiras serão abordadas de forma sucinta a seguir, e as normas das demais distribuidoras são comentadas em Anexo nesta dissertação.

Apesar da determinação da ANEEL, quatro distribuidoras brasileiras não fornecem as normas técnicas referentes a microgeração e minigeração distribuída. Essas distribuidoras são:

---

Força e Luz Coronel Vivida Ltda. (FORCEL), Jari Energética S.A. (JARI), Departamento Municipal de Energia de Ijuí (DEMEI) e Companhia Energética de Roraima (CERR).

#### 4.2.1.AES Eletropaulo: Metropolitana Eletricidade de São Paulo S/A

A AES Eletropaulo apresenta a norma técnica NT – 6.012: Requisitos Mínimos para Interligação de Microgeração e Minigeração Distribuída com a Rede de Distribuição da AES Eletropaulo com Paralelismo Permanente Através do Uso de Inversores – Consumidores de Média e de Baixa Tensão.

A norma apresenta os requisitos para paralelismo de microgeração e mineração distribuída, dados necessários aos projetos de paralelismo, especificação do sistema de proteção com medidas para não ocorrer o ilhamento, condições para realização de inspeções e testes, apresenta diagramas unifilares para conexão em baixa tensão e média tensão e ilustra exemplo de como deve ser realizado a sinalização de segurança.

A norma NT – 6.012 também expõe os requisitos técnicos para a operação da geração distribuída, sendo permitida conexão monofásica, bifásica e trifásica para instalações com potência instalada inferior ou igual a 20 kW e apenas conexão trifásica para potências maiores [38]. Também é divulgado o tempo máximo para o desligamento da geração quando esta opera fora dos limites nominais de tensão, sendo esses tempos indicados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Tempo de Desligamento em Função da Tensão

<i>Tensão no ponto de conexão (% da tensão nominal)</i>	<i>Tempo máximo de desligamento</i>
$V < 80\%$	0,4 segundos
$80\% \leq V \leq 110\%$	Regime Normal
$110\% < V$	0,2 segundos

Fonte: Extraído de [38]

Nesta norma é estabelecido que o fator de potência deve ser igual a 1, podendo variar de acordo com a potência instalada, sendo esta variação indicada na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Variação do Fator de Potência

<i>Potência Nominal</i>	<i>Variação do Fator de Potência</i>
$P \leq 3 \text{ kW}$	0,98 indutivo a 0,98 capacitivo
$3 \text{ kW} < P \leq 6 \text{ kW}$	0,95 indutivo a 0,95 capacitivo
$P > 6 \text{ kW}$	0,90 indutivo a 0,90 capacitivo

Fonte: Adaptado de [38]

A distorção de harmônicos também é relatada nesta norma, sendo estabelecido que a distorção total de harmônicos na corrente não deve ser superior a 5% e cada ordem harmônica tem seu limite estabelecido. Os limites de harmônicas máximos são apresentados a seguir na Tabela 4.3. Além disso, são mencionadas as faixas adequadas de frequência, parâmetros do sistema de aterramento e em anexo nesta norma técnica são mostrados modelos para o termo de responsabilidade [38].

Tabela 4.3 – Limites de Distorções Harmônicas

<i>Harmônicas Ímpares</i>	<i>Limite de Distorção</i>
3ª a 9ª	< 4,0%
11ª a 15ª	< 2,0%
17ª a 21ª	< 1,5%
23ª a 33ª	< 0,6%
<i>Harmônicas Pares</i>	<i>Limite de Distorção</i>
2ª a 8ª	< 1,0%
10ª a 32ª	< 0,5%

Fonte: Extraído de [38]

#### 4.2.2. CEMIG D: Companhia Energética de Minas Gerais

A distribuidora Companhia Energética de Minas Gerais expõe suas orientações referentes à conexão de geração distribuída ao seu sistema elétrico através do comunicado técnico nº 08 - 2013: Critérios de Acesso em Média Tensão da CEMIG Distribuição SA para Microgeração e Minigeração Distribuída Aderentes ao Regime de Compensação.

O presente documento apresenta as especificações técnicas para a conexão dos acessantes, como potência instalada, transformador de acoplamento, geração conectada com ou sem inversores, automação, requisitos mínimos de proteção e sistema de medição. Neste documento também são ilustrados diagramas unifilares da forma de conexão dos acessantes ao sistema de distribuição da CEMIG [39]. A característica do ponto de conexão do gerador distribuído, dependendo da sua potência instalada, também é determinada neste comunicado técnico e pode ser visualizada na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Forma de Conexão à Distribuidora CEMIG D

<i>Potência Instalada</i>	<i>Faixa de Potência</i>	<i>Característica da Conexão</i>
Microgeração	> 75 e ≤ 100 kW	Média Tensão Trifásica
Minigeração	> 100 e ≤ 300 kW	
	> 300 e ≤ 500 kW	
	> 500 e ≤ 1000 kW	

Fonte: Extraído de [39]

O comunicado técnico informa que as etapas necessárias para a conexão dos acessantes devem seguir o módulo 3 do PRODIST. O acordo operativo e relacionamento operacional, são indicados pelo comunicado, a serem realizados, respectivamente, de acordo com a resolução nº 482/2012 e nº 517/2012 da ANEEL. O comunicado também estabelece que as obras necessárias para a conexão devem ser realizadas segundo a norma Cemig D ND 5.3, resoluções normativas nº 482/2012, nº 517/2012 e nº 414/2010 da ANEEL [39].

### 4.2.3. CPFL Energia

A CPFL Energia possui oito distribuidoras de energia elétrica, as quais são:

- CPFL Jaguari: Companhia Jaguari de Energia
- CPFL Leste Paulista: Companhia Paulista de Energia Elétrica
- CPFL Mococa: Companhia Luz e Força de Mococa
- CPFL Paulista: Companhia Paulista de Força de Luz
- CPFL Piratininga: Companhia Piratininga de Força e Luz
- CPFL Santa Cruz: Companhia Luz e Força Santa Cruz
- CPFL Sul: Companhia Sul Paulista de Energia
- RGE: Rio Grande Energia

Todas as distribuidoras pertencentes à CPFL Energia seguem a mesma norma técnica referente ao acesso de microgeração e minigeração distribuída. A norma técnica vigente destas distribuidoras é a 15303: Conexão de Micro e Minigeração Distribuída sob Sistema de Compensação de Energia Elétrica. A presente norma aborda inicialmente as especificações do sistema de compensação de energia elétrica. A documentação necessária para cogeração qualificada e diferenciação de acordo operativo e relacionamento operacional. São relatadas as características do ponto de conexão dependendo da potência instalada, conforme a Tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Forma de Conexão às Distribuidoras CPFL

<i>Potência Instalada</i>	<i>Nível de Tensão</i>
< 10 kW	Baixa tensão (monofásico, bifásico ou trifásico)
10 a 100 kW	Baixa tensão (trifásico)
101 a 500 kW	Baixa tensão (trifásico) ou média tensão (trifásico)
501 kW a 1 MW	Média tensão (trifásico)

Fonte: Extraído de [40]

A norma apresenta os processos necessários para realizar a conexão do acessante (solicitação de acesso, consulta e informação de acesso, parecer de acesso, vistoria, relatório de



vistoria e aprovação da conexão), especificações necessárias para a segurança das instalações e pessoas, qualidade da energia elétrica (tensão em regime permanente, fator de potência, distorção harmônica, desequilíbrio de tensão, flutuação de tensão e variação de frequência) e requisitos técnicos específicos (ponto de conexão, padrão de entrada, proteção, seccionamento, manobra, sistema de medição de faturamento, certificação de equipamentos e dispositivos), requisitos para a operação em paralelo e informa aos acessantes verificar o atendimento correto às normas vigentes relativas ao meio ambiente.

A norma técnica da CPFL Energia descreve que, para os empreendedores de geração distribuída que desejarem operar com potência superior a 1 MW, devem solicitar o aumento pretendido à distribuidora. Esta norma também demonstra em anexo próprio diagramas unifilares, modelo de placa de advertência, modelo de relacionamento operacional para microgeração distribuída com adesão ao sistema de compensação de energia elétrica e informações detalhadas da central geradora necessárias para a conexão [40].

#### **4.2.4. ELETROBRÁS**

A ELETROBRÁS possui seis distribuidoras de energia elétrica e estas seguem as mesmas normas técnicas. As distribuidoras da ELETROBRÁS são:

- Eletrobrás AC: Eletrobrás Distribuição Acre
- Eletrobrás AL: Eletrobrás Distribuição Alagoas
- Eletrobrás AM: Eletrobrás Amazonas Energia
- Eletrobrás PI: Eletrobrás Distribuição Piauí
- Eletrobrás RO: Eletrobrás Distribuição Rondônia
- Eletrobrás RR: Eletrobrás Distribuição Roraima

A ELETROBRÁS apresenta duas normas técnicas referentes ao acesso de microgeração e minigeração distribuídas, sendo uma para sistemas elétricos em baixa tensão e outra para média tensão. As normas técnicas são a MPN-DC-01/N-001: Conexão de Acessantes à Rede de Distribuição em Baixa Tensão – Microgeradores e MPN-DC-01/N-002: Conexão de Acessantes à Rede de Distribuição em Média Tensão – Minigeradores.

Ambas normas técnicas dispõem de conteúdo muito semelhante, diferenciando no tipo de contrato e na forma de conexão. Para microgeradores, o contrato estabelecido é o relacionamento operacional e, para os minigeradores distribuídos, é o acordo operativo. A forma de conexão de microgeradores e minigeradores distribuídos pode ser vista na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Forma de Conexão às Distribuidoras ELETROBRÁS

<i>Tensão do Sistema</i>	<i>Tipo de Conexão</i>	<i>Potência da Microgeração</i>
380 V <sub>FF</sub> /220 V <sub>FN</sub>	Monofásico	≤ 15 kW
	Trifásico	> 15 a 75 kW
220 V <sub>FF</sub> /127 V <sub>FN</sub> e 230 V <sub>FF</sub> /115 V <sub>FN</sub>	Monofásico	≤ 7,5 kW
	Bifásico	> 7,5 a 15 kW
	Trifásico	≥ 15 a 75 kW
230 V <sub>FF</sub> /115 V <sub>FN</sub> a 2 e 3 fios	Monofásico	≤ 7,5 kW
	Bifásico	> 7,5 a 37,5 kW
<i>Tensão do Sistema</i>	<i>Tipo de Conexão</i>	<i>Potência da Minigeração</i>
13,8 kV ou 34,5 kV	Trifásico	≥ 75 e ≤ 1000 kW

Fonte: Adaptado de [41] e [42]

As normas técnicas descrevem as etapas para a realização do acesso (solicitação de acesso, parecer de acesso, relacionamento operacional ou acordo operativo, implantação da conexão e aprovação do ponto de conexão), critérios técnicos (características do sistema de distribuição em baixa e média tensão, forma de conexão, conexão de geradores com ou sem inversores, sistema de medição, dispositivo de seccionamento visível, padrão de entrada e proteção), requisito de qualidade e requisitos de segurança idênticos às normas anteriores.

A norma técnica MPN-DC-01/N-001 apresenta em anexo próprio o modelo de solicitação de acesso de microgeração em baixa tensão, modelo de relacionamento operacional para microgeração distribuída, formulário de solicitação de vistoria de microgeração em baixa tensão, formulário da ANEEL para registro de usina eólica, central geradora e formulário de especificação de medidor bidirecional [41]. A norma MPN-DC-01/N-002 aborda em anexo próprio o modelo para solicitação de acesso de minigeração em média tensão, parecer de acesso de minigeração, modelo de acordo operativo para a minigeração distribuída, formulário de solicitação de vistoria de minigeração em média tensão, formulário da ANEEL para registro de usina eólica, central geradora e formulário de especificação de medidor bidirecional [42].

#### 4.2.5. Grupo Energisa

O Grupo Energisa possui treze distribuidoras de energia elétrica, as quais seguem as mesmas normas técnicas, sendo uma para conexão em baixa tensão e outra para conexão em média tensão. Essas distribuidoras são:

- Bragantina: Empresa Elétrica Bragantina S/A
- Caiuá: Caiuá Serviços de Eletricidade S/A
- Celtins: Companhia de Energia Elétrica do Estado do Tocantins

- Cemat: Centrais Elétricas Matogrossenses S/A
- CFLO: Companhia Força e Luz do Oeste
- Energisa Borborema: Energisa Borborema
- Energisa MG: Energisa Minas Gerais
- Energisa Nova Friburgo: Energisa Nova Friburgo
- Energisa PB: Energisa Paraíba
- Energisa SE: Energisa Sergipe
- Enersul: Empresa Energética do Mato Grosso do Sul S/A
- Nacional: Companhia Nacional de Energia Elétrica
- Vale Paranapanema: Empresa de Eletricidade Vale do Paranapanema S/A

As normas técnicas dessas distribuidoras são a NDU-013: Critérios para a Conexão de Acessantes de Geração Distribuída ao Sistema de Distribuição da Energisa – Conexão em Baixa Tensão e NDU-015: Critérios para a Conexão de Acessantes de Geração Distribuída ao Sistema de Distribuição da Energisa – Conexão em Média Tensão.

As normas apresentam de forma semelhante as etapas para realizar a conexão ao sistema de distribuição, as quais são: solicitação de acesso, parecer de acesso, relacionamento operacional ou acordo operativo, obras de responsabilidade da distribuidora e de acessante e solicitação de vistoria.

A norma referente à conexão em baixa tensão exhibe as especificações referentes aos critérios técnicos, como características do sistema de distribuição da Energisa em baixa tensão, conexão de geradores com ou sem inversores, sistema de medição, dispositivo de seccionamento visível e proteção para a conexão [43]. Também são mostrados os requisitos de qualidade e segurança, conforme relatados nas normas técnicas anteriores. A forma de conexão dos acessantes em baixa tensão pode ocorrer em vários níveis de tensão, conforme Tabela 4.7.

Tabela 4.7 – Forma de Conexão em Baixa Tensão às Distribuidoras Energisa

<i>Tensão</i>	<i>Potência</i>	<i>Forma de Conexão</i>
220/127V	$\leq 8,10$ kW	Monofásico, bifásico ou trifásico
	$\leq 16,25$ kW	Bifásico ou trifásico
	$> 16,25$ kW	Trifásico
380/220V	$> 14,20$ kW	Monofásico, bifásico ou trifásico
	$\leq 20,25$ kW	Bifásico ou trifásico
	$> 20,25$ kW	Trifásico
230/115V	$\leq 7,40$ kW	Monofásico, bifásico ou trifásico
	$> 23,00$ kW	Bifásico ou trifásico
230V	$\leq 23,00$ kW	Trifásico

Fonte: Extraído de [43]

A norma técnica referente a sistemas elétricos de média tensão descreve os critérios técnicos para realizar a conexão, os quais são: características do sistema de distribuição da Energisa em média tensão, níveis de tensão permitidos (11,4 kV, 13,8 kV e 22 kV), forma de conexão (consumidor existente que pretende se tornar autoprodutor, acessante novo conectado a um alimentador existente e acessante novo conectado em média tensão a subestação). Também são expostos padrões técnicos para o religador, para o trecho de alimentação de interligação, transformador de acoplamento e requisitos de proteção [44].

Na norma NDU-015 são expostos os requisitos de medição (sistema de medição de faturamento, produtor independente, autoprodutor, subestação de medição de faturamento, conservação da subestação de medição de faturamento e acesso à subestação de medição de faturamento), requisitos de automação e telecomunicação, requisitos técnicos da geração (geradores síncronos e geradores assíncronos), qualidade do produtor (tensão em regime permanente, fator de potência, harmônicos, desequilíbrio de tensão, flutuação de tensão, variação de tensão de curta duração e variação de frequência) e qualidade do serviço.

Na norma NDU-015 também encontra-se em anexo próprio um modelo de formulário para informações básicas da geração, modelo de formulário para informações para avaliação de consulta de consumidores, folha de dados para a análise de partida de motores, folha de dados para análise de cargas especiais, modelo de solicitação de acesso para estudos dinâmicos de geradores, funções de proteção necessárias aos acessantes, funções de proteção necessárias ao ponto de conexão, funções de proteção para produtor independente ou novo autoprodutor, funções de proteção para consumidor que pretende instalar geração própria, ajuste padrão das funções de proteção para acessante e modelo para solicitação de acesso para micro e minigeradores [44].

### **4.3. Normas Técnicas Estrangeiras**

A geração distribuída está presente na matriz energética de muitos países, sendo imprescindível a regulação desta nestes países também. Em todos os locais que a geração distribuída é empregada é necessário fazer o uso de normas técnicas específicas para garantir a inserção correta deste tipo de geração no sistema elétrico, sem causar danos ao gerador distribuído, ao sistema elétrico e a terceiros. Dessa forma, serão apresentadas a seguir de forma sucinta normas técnicas estrangeiras sobre geração distribuída.

### **4.3.1.IEEE 1547 - 2003: IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems**

A norma técnica IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) 1547 - 2003 foi publicada em 28 de julho de 2003. Esta norma tem por finalidade apresentar os requisitos para a conexão de tecnologias de geração distribuída, com capacidade menor ou igual a 10 MVA, ao sistema elétrico de potência em tensão primária ou secundária.

A norma apresenta requisitos técnicos de interconexão, abordando os seguintes temas:

- Regulação de tensão: a geração distribuída não deve alterar o valor da tensão do ponto de acoplamento e do sistema elétrico, de acordo com os níveis admissíveis de tensão;
- Aterramento: o sistema de aterramento da geração distribuída não deve provocar sobretensão e não pode causar interferência na proteção à terra;
- Sincronização: o gerador distribuído ao operar em paralelo com o sistema elétrico não deve causar uma flutuação de tensão superior a  $\pm 5\%$  no nível de tensão do ponto de acoplamento;
- Rede local de distribuição secundária: o sistema de proteção não deve isolar a geração distribuída do restante do sistema elétrico, exceto se o sistema de proteção for testado para esta finalidade. A proteção da geração distribuída também não deve interferir no sistema de proteção de outros consumidores no sistema elétrico local;
- Monitoramento: unidades de geração distribuída com potência instalada maior ou igual a 250 kVA devem ter monitoramento das condições de potência ativa, potência reativa e tensão do ponto de acoplamento;
- Dispositivo de isolamento: deve ser localizado entre a geração distribuída e o sistema elétrico;
- Proteção contra interferência eletromagnética: o sistema de interconexão deve seguir a norma IEEE Std C37.90.2-1995 para evitar a interferência eletromagnética e esta não deve provocar falhas no sistema de interconexão;
- Capacidade de resistir a surtos: o sistema de interconexão deve suportar surtos de tensão e corrente respeitando as normas IEEE Std C62.41.2-2002 e IEEE Std C37.90.1-2002;
- Dispositivo de paralelismo: o dispositivo de paralelismo deve suportar 220% da tensão nominal do sistema de interconexão.

A norma IEEE 1547 - 2003 também especifica os procedimentos necessários que o gerador distribuído deve seguir mediante operação não nominal do sistema elétrico. Estes procedimentos descritos na norma são:

- Faltas no sistema elétrico: em caso de faltas no sistema elétrico da distribuidora, a geração distribuída deve parar de fornecer energia ao sistema elétrico;
- Coordenação de religamento: após eliminadas as faltas é necessário que o sistema elétrico retorne ao seu funcionamento normal para depois a geração distribuída fornecer energia ao mesmo;
- Tensão: quando há tensão não nominal proveniente da geração distribuída, essa geração deve ser desconectada do sistema elétrico respeitando o tempo previsto nesta norma. O tempo para desconectar a geração distribuída depende do valor da tensão medida em relação à porcentagem da tensão nominal. Esses valores podem ser observados na Tabela 4.8;

Tabela 4.8 – Tempo para Eliminação da Tensão Não Nominal

<i>Tensão (% tensão nominal)</i>	<i>Tempo de eliminação (s)</i>
$V < 50\%$	0,16
$50\% \leq V < 88\%$	2,00
$110\% < V < 120\%$	1,00
$V \geq 120\%$	0,16

Fonte: Extraído de [45]

- Frequência: quando a frequência da geração distribuída estiver fora dos limites normais, a esta deve interromper o fornecimento de energia para o sistema elétrico em um tempo determinado. As faixas de frequência e os seus respectivos tempos de eliminação estão indicados na Tabela 4.9;

Tabela 4.9 – Tempo de Eliminação de Frequência Não Nominal

<i>Potência da GD</i>	<i>Frequência (Hz)</i>	<i>Tempo (s)</i>
$\leq 30 \text{ kW}$	$> 60,5$	0,16
	$< 59,3$	0,16
$> 30 \text{ kW}$	$> 60,5$	0,16
	$< (59,8 - 57,0)$	0,16 a 300
	$< 57,0$	0,16

Fonte: Extraído de [45]

A presente norma também divulga especificações para garantir a qualidade da energia elétrica, as quais são:

- Limitação da injeção de corrente contínua: a geração distribuída não deve injetar no sistema elétrico corrente contínua maior que 0,5% da corrente total que é fornecida no ponto de conexão;
- *Flicker*: a geração distribuída não deve causar *flicker* em outros consumidores;
- Harmônicos: a porcentagem limite de harmônicos permitidos na corrente depende da ordem harmônica e estes valores podem ser vistos na Tabela 4.10. Para as harmônicas de ordem par é determinado o valor de 25% do limite das harmônicas ímpares.

Tabela 4.10 – Distorções Harmônicas Máximas

Harmônica de ordem $h$	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	Distorção total
Porcentagem	4,0 %	2,0 %	1,5 %	0,6 %	0,3 %	5,0 %

Fonte: Extraído de [45]

A norma técnica também determina a realização de testes do sistema elétrico com o objetivo de garantir o funcionamento adequado dos equipamentos e do sistema de interconexão. Dessa forma, os testes realizados são: teste da resposta à tensão e frequência não nominal, sincronização com o sistema elétrico de potência, proteção contra interferência eletromagnética, capacidade de suportar surtos, dispositivo de paralelismo, injeção de corrente contínua, harmônicos, testes de produção e comissionamento [45].

#### 4.3.2. Engineering Recommendation G83: Recommendations for the Connection of Type Tested Small-scale Embedded Generators (Up to 16A per Phase) in Parallel with Low-Voltage Distribution Systems

A norma técnica britânica *Engineering Recommendation G83* consiste na orientação para a conexão ao sistema de distribuição público de baixa tensão de geradores distribuídos de pequena escala com no máximo 16 A, o qual corresponde a 11,04 kW de potência trifásica. Esta norma foi elaborada e aprovada pelo *Great Britain Distribution Code Review Panel* e publicada pela *Energy Networks Association*.

A norma *Engineering Recommendation G83* apresenta as especificações a serem seguidas para a conexão, proteção e testes do sistema elétrico da Grã-Bretanha, o qual opera com tensão de 230V e frequência de 50Hz [46]. As principais diretrizes descritas serão brevemente mencionadas a seguir:

- Sistema de proteção: o sistema de proteção deve operar seguindo as recomendações da Tabela 4.11;

Tabela 4.11 – Tempo de Atuação da Proteção

<i>Valores Medidos</i>	<i>Tempo de Atuação da Proteção</i>
200,1V	2,5 segundos
184V	0,5 segundos
262,2V	1,0 segundo
273,7V	0,5 segundos
47,5Hz	20 segundos
47Hz	0,5 segundos
51,5Hz	90 segundos
52Hz	0,5 segundos

Fonte: Extraído de [46]

- Reconexão automática: após a geração distribuída ser desconectada do sistema elétrico por apresentar tensão e/ou frequência diferente dos valores nominais, essa poderá reconectar ao sistema elétrico depois que os valores de tensão e frequência retornarem ao valor nominal e permanecerem assim por no mínimo 20 segundos;
- Qualidade: nas instalações de geração distribuídas devem ser realizados testes para verificar a emissão de harmônicos presentes na corrente e testes para observar se há *flickers*;
- Injeção de corrente contínua: o limite para a injeção de corrente contínua é de 0,25% da corrente alternada por fase;
- Fator de potência: as instalações devem operar com fator de potência dentro da faixa de 0,95 atrasado a 0,95 adiantado;
- Placa de advertência: é necessário a instalação de placas de advertência alertando para o cuidado com as instalações da geração distribuída.

A norma *Engineering Recommendation G83* apresenta em anexo próprio as informações que as unidades que possuem geração distribuída devem fornecer ao operador da rede de distribuição para a realização de comissionamento, alteração de algum componente da unidade de geração distribuída e informações necessárias se a geração distribuída deixar de operar em paralelo com o sistema elétrico [46].



## **4.4.Comparação das Normas de Geração Distribuída Brasileiras e Estrangeiras**

As normas técnicas sobre geração distribuída brasileiras e estrangeiras, expostas anteriormente, apresentam de forma semelhante especificações referentes à conexão e operação da geração distribuída. Além disso, cada norma técnica apresenta suas especificações particulares referente a este tipo de geração.

As normas técnicas brasileiras e as normas estrangeiras, IEEE 1547-2003 e *Engineering Recommendation G83*, abordam de maneira similar os requisitos necessários para serem seguidos sobre: qualidade da energia elétrica, proteção contra injeção de componente de corrente contínua, tempo de desligamento para tensão não nominal, tempo de atuação da proteção para frequência não nominal, limites de distorções harmônicas na corrente, especificação do fator de potência, reconexão e placa de advertência.

A principal diferença entre as normas nacionais e estrangeiras consiste na potência da geração distribuída abordada pela norma. As normas técnicas brasileiras são destinadas a instalações com capacidade de potência menor ou igual a 1 MW, a norma IEEE 1547 – 2003 refere-se à geração distribuída com capacidade menor ou igual a 10 MVA e a norma *Engineering Recommendation G83* atende a geração distribuída com capacidade máxima de 11,04 kW.

## **4.5.Perspectivas Futuras da Legislação de Geração Distribuída no Brasil**

O Brasil atualmente possui a geração distribuída regida pela resolução normativa nº 482/2012, conforme descrita anteriormente, na qual estabelece os limites de potência para ser classificada a geração distribuída em microgeração ou minigeração. Com os referidos conceitos descritos, o limite máximo de potência abordado pelas normas brasileiras é de 1 MW, a qual é designada de minigeração distribuída. Dessa forma, o país carece de uma norma que amplie o conceito de geração distribuída para empreendimentos que possuem uma capacidade instalada de potência superior a 1 MW, porém que ainda apresentam as demais características de geração distribuída. Com as normas atendendo uma faixa maior de potência seria possível incentivar novos empreendimentos de geração distribuída no país.

A resolução normativa nº 482/2012 também estabelece que cada distribuidora de energia elétrica do país deve elaborar suas próprias normas técnicas, em conformidade com

essa resolução e o módulo três do PRODIST. Com essa medida há várias normas técnicas em vigor no país, e o consumidor deve seguir a norma técnica específica da área de concessão da distribuidora que se encontra. Para uma melhor aplicação das normas técnicas pelos empreendedores e padronização nacional das mesmas, a unificação das normas técnicas e aplicação de apenas uma norma em todo território nacional simplificaria as etapas para realização da conexão da geração distribuída.

A legislação brasileira atual sobre geração distribuída determina que para ser classificado como microgeração e minigeração distribuída é necessário o produtor de energia participar do sistema de compensação de energia elétrica. Neste sistema, a potência elétrica proveniente de geração distribuída é utilizada para compensar a quantidade de potência elétrica que o produtor utilizou da rede da distribuidora. Assim, o produtor de energia não comercializa a energia elétrica e, por isso, não recebe recompensação financeira pela energia gerada. Com a permissão ao gerador distribuído de comercializar a energia elétrica proveniente de seus empreendimentos haveria uma oferta maior de energia elétrica no setor elétrico nacional e, também, seria um atrativo para a geração distribuída ser mais empregada no país.

A resolução normativa nº 482/2012 também determina que as responsabilidades por danos ao sistema elétrico, ocasionados pela geração distribuída, devem ser regidas pela resolução normativa nº 414/2010. Assim, é definido que qualquer dano ao sistema elétrico, a equipamentos ou a terceiros, originados pela microgeração e minigeração distribuída são de responsabilidade destes. Com isso, os empreendedores em geração de energia são desestimulados a investirem em geração distribuída, uma vez que, mesmo seguindo todas as normas do setor, quando há qualquer dano ao sistema, este é responsável pelos prejuízos, sem que haja uma análise prévia dos envolvidos no incidente. Com a realização de uma análise técnica para indicar qual o responsável pelos danos, podendo ser o gerador distribuído ou a concessionária de distribuição, o empreendedor ficaria respaldado pela norma e arcaria com os danos ocorridos no sistema apenas após comprovada sua responsabilidade. Dessa forma, também seria um incentivo para o emprego da geração distribuída no Brasil.

Com a finalidade de atualizar a legislação brasileira vigente sobre geração distribuída e atender as necessidades de geradores distribuídos e distribuidoras de energia elétrica, a Agência Nacional de Energia Elétrica realizou uma consulta pública no período de 14 de maio de 2014 a 13 de julho de 2014, através do Aviso de Consulta Pública nº 005/2014 [47]. Esta consulta pública teve por finalidade obter contribuições para a revisão da legislação vigente em geração distribuída, focando na possibilidade de ampliação da potência instalada da geração distribuída para superior a 1 MW e modificação das condições do sistema de compensação de energia

elétrica. Dessa forma, com as contribuições recebidas da sociedade na consulta pública, estas serão analisadas pela ANEEL para atualizar a resolução normativa vigente referente à geração distribuída no país.

## **4.6. Considerações Finais**

O presente capítulo apresentou as normas técnicas de algumas distribuidoras de energia elétrica nacionais, as quais disponibilizam na *internet* suas respectivas normas conforme determinação da Agência Nacional de Energia Elétrica. A grande maioria das concessionárias de distribuição de energia elétrica segue corretamente a legislação e disponibiliza suas normas técnicas referentes à geração distribuída, porém no país ainda existem quatro distribuidoras que não apresentam essa norma.

As normas técnicas descritas neste capítulo atendem a legislação vigente e, assim, seguem todas as recomendações da resolução normativa nº 482/2012 e do módulo três do PRODIST. Essas normas apresentam conteúdo muito semelhantes, como a descrição das etapas de solicitação de acesso, requisitos de qualidade, procedimentos de segurança, sistema de proteção e especificação do nível de tensão.

Neste capítulo também foram apresentadas brevemente normas técnicas estrangeiras, as quais são a IEEE 1547 – 2003 e a *Engineering Recommendation G83*. Estas normas apresentam conteúdo semelhante às normas técnicas brasileiras, porém com algumas particularidades, como exemplo, a norma *Engineering Recommendation G83* se refere a sistemas elétricos com frequência nominal de 50 Hz e a normas brasileiras a sistemas elétricos com frequência nominal de 60 Hz.

O presente capítulo também relata as perspectivas para a legislação brasileira em geração distribuída. São descritas algumas instruções das atuais normas que merecem ser analisadas para melhor atender os geradores distribuídos e as distribuidoras de energia elétrica. Também é exposta neste capítulo a medida estabelecida pela ANEEL, abertura da consulta pública, para revisar e atualizar a legislação desse setor.

# CAPÍTULO 5

---

## ESTUDOS DE CASOS DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

### 5.1. Considerações Iniciais

Os estudos de casos têm como finalidade avaliar o impacto de um gerador distribuído quando este se encontra conectado a um alimentador de distribuição e submetido a alguns distúrbios típicos nesse alimentador. Estes estudos todos foram realizados considerando um alimentador de distribuição de 13,8 kV da concessionária Bandeirante, o qual se localiza na cidade de São Paulo, próximo ao aeroporto de Guarulhos e possui seis cargas conectadas [23].

Para a análise da contribuição do gerador distribuído no alimentador de distribuição foram realizadas simulações no sistema elétrico inicialmente sem a conexão do gerador distribuído e após com a conexão do mesmo, com a finalidade de comparar os resultados obtidos em cada simulação. Nos estudos de casos foram simulados quatro distúrbios comuns que ocorrem no sistema elétrico, os quais são: curto-circuito trifásico, curto-circuito fase-terra sólido, ilhamento de parte do sistema elétrico e aumento de carga no alimentador.

Os estudos de casos foram todos realizados utilizando o *software ATP (Alternative Transients Program)*. Este *software* foi desenvolvido pelos doutores W. Scott Meyer e Tsu-Huei Liu em 1984. As principais características do ATP são: gratuito, utilizado pela comunidade acadêmica, utilizado pelo setor elétrico (como o Operador Nacional do Sistema Elétrico), possui biblioteca própria com diversos elementos elétricos (como resistor, máquina síncrona e transformadores) e permite a elaboração de novos elementos por meio de linguagem de programação própria.

---

## 5.2. Modelagem do Sistema Elétrico

Com a finalidade da representação do sistema elétrico no *software ATP*, foi necessário modelar o mesmo para se obter os parâmetros necessários de entrada no referido *software*. Dessa forma, a seguir serão detalhados a modelagem de todos os componentes do sistema elétrico.

### 5.2.1. Modelagem da Subestação

A subestação de potência foi modelada no *software ATP* como uma fonte de tensão constante em série a uma indutância, ou seja, foi considerada a subestação como um barramento infinito. Os dados necessários para representar a subestação no ATP são o módulo e o valor do ângulo de fase da tensão.

Realizando o processamento de um programa de fluxo de carga existente, tomando como dados de entrada a potência ativa da subestação de 7,00 MW e o módulo da tensão de 13,8 kV (tensão nominal do alimentador), encontrou-se como resultados o ângulo da tensão da barra da subestação como sendo  $3,23^\circ$  e a potência reativa como sendo 2,60 MVar. Estes valores ficaram de acordo com a referência [23].

A representação da subestação no *software ATP* pode ser observada na Figura 5.1.

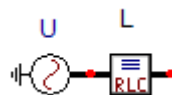


Figura 5.1 – Representação da subestação (Fonte: Autor)

### 5.2.2. Modelagem das Cargas

Para a representação no *software ATP* das cargas como impedância constante foi necessário a modelagem destas, com a finalidade de obter os seus respectivos valores de resistência e indutância. Dessa forma, os valores fornecidos para as seis cargas conectados ao alimentador de distribuição podem ser observados na Tabela 5.1, a qual apresenta os valores destas em potência ativa, reativa, resistência e indutância. A representação das cargas no *software ATP* é ilustrada na Figura 5.2.

Tabela 5.1 – Valores das Cargas

<i>Cargas</i>	<i>P[kW]</i>	<i>Q[kVAr]</i>	<i>R[Ω]</i>	<i>L[mH]</i>
Carga 1	870	275	193,86	162,52
Carga 2	800	255	196,51	166,16
Carga 3	1160	370	132,85	112,39
Carga 4	1260	400	121,48	102,28
Carga 5	470	150	323,83	274,14
Carga 6	2170	690	69,54	58,65

Fonte: Adaptado de [23]

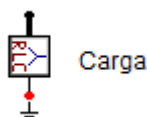


Figura 5.2 – Representação da carga (Fonte: ATP)

### 5.2.3. Modelagem das Linhas de Distribuição

As linhas de distribuição do alimentador analisado foram representadas através do Modelo  $\pi$ , o qual é descrito por resistência e indutância em série com a linha de distribuição e em paralelo com esta, em cada extremidade, são conectadas capacitâncias com a metade de seu valor nominal.

O condutor utilizado na simulação é o CAA 336,4 do fabricante Nexans. Com o catálogo do condutor foram obtidos os valores de resistência, 0,2051  $\Omega/\text{km}$ , de reatância indutiva, 0,3770  $\Omega/\text{km}$  e de reatância capacitiva, 0,2266 M. $\Omega.\text{km}$  [48]. Assim, com os dados técnicos do condutor, foram modeladas as linhas de distribuição e obtidos os valores de resistência, indutância e capacitância requisitados pelo *software* ATP. Os valores modelados das linhas de distribuição são apresentados na Tabela 5.2 e a representação destas no *software* ATP é ilustrado na Figura 5.3.

Tabela 5.2 – Valores dos Parâmetros das Linhas de Distribuição

<i>Linha</i>	<i>Distância [m]</i>	<i>R [Ω]</i>	<i>L[mH]</i>	<i>C[μF]</i>
SE1 - CG2	1000	0,2051	1,000	0,0117
CG2 - CG3	3000	0,6153	3,000	0,0351
CG3 - CG4	1000	0,2051	1,000	0,0117
CG4 - CG5	500	0,1025	0,500	0,0058
CG5 - CG6	500	0,1025	0,500	0,0058
CG6 - CG7	1000	0,2051	1,000	0,0117
CG7 - CG8	1000	0,2051	1,000	0,0117

Fonte: Autor

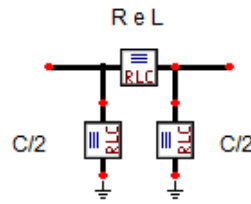


Figura 5.3 – Representação da linha de distribuição (Fonte: Autor)

#### 5.2.4. Modelagem do Gerador Distribuído

O gerador distribuído foi representado na simulação pela máquina síncrona SM59 controlada, disponível no próprio *software* ATP. O gerador distribuído possui uma potência de 5 MVA, tensão de 13,8 kV e os demais dados utilizados nas simulações podem ser visualizados na Tabela 5.3 e a representação da máquina no ATP na Figura 5.4.

Tabela 5.3 – Parâmetros do Gerador Distribuído

<i>Polos</i>	<i>H</i>	<i>X<sub>d</sub></i>	<i>X<sub>q</sub></i>	<i>X'<sub>d</sub></i>	<i>X'<sub>q</sub></i>	<i>X''<sub>d</sub></i>	<i>X''<sub>q</sub></i>	<i>T'<sub>do</sub></i>	<i>T''<sub>do</sub></i>	<i>T''<sub>qo</sub></i>
4	0,68s	1,31 pu	0,75 pu	0,23 pu	0 pu	0,16pu	0,17pu	3,58s	0,012s	0,08s

Fonte: Extraído de [49]



Figura 5.4 – Representação do gerador distribuído controlado (Fonte: ATP)

#### 5.2.5. Modelagem dos Reguladores de Tensão e Velocidade

O gerador distribuído nas simulações foi equipado com reguladores de tensão e de velocidade [50]. Os parâmetros atribuídos ao regulador de tensão tipo I do IEEE são disponíveis na Tabela 5.4 e o diagrama de blocos correspondente ao modelo de regulador utilizado é ilustrado na Figura 5.5. Para o regulador de velocidade os parâmetros utilizados no ATP são apresentados na Tabela 5.5 e o seu respectivo diagrama de blocos é ilustrado na Figura 5.6 [50]. A representação de ambos os reguladores no ATP é apresentada na Figura 5.7.

Tabela 5.4 – Parâmetros do Regulador de Tensão

<i>K<sub>a</sub></i>	<i>T<sub>a</sub></i>	<i>K<sub>f</sub></i>	<i>T<sub>f</sub></i>	<i>K<sub>e</sub></i>	<i>T<sub>e</sub></i>	<i>V<sub>max</sub></i>	<i>V<sub>min</sub></i>
400 pu	0,02 s	0,03 pu	1,0 s	1,0 pu	0,8 s	6,6 pu	0 pu

Fonte: Extraído de [49]

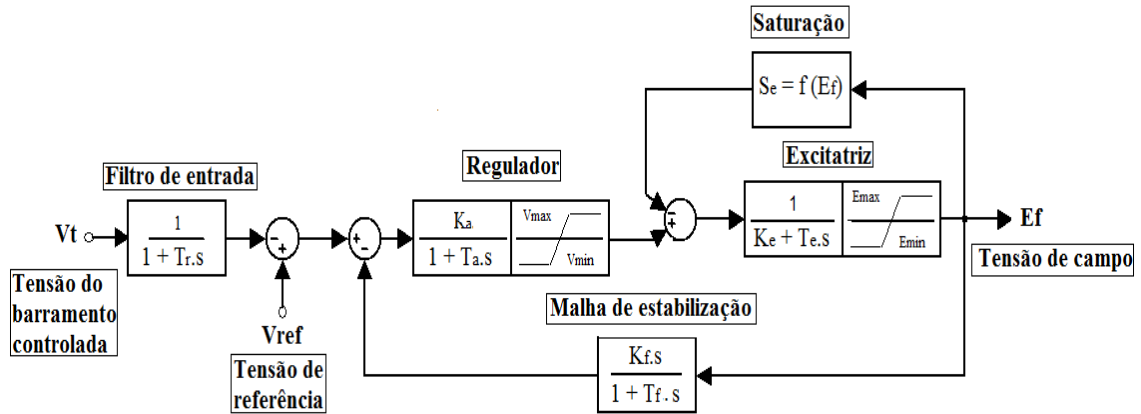


Figura 5.5 – Diagrama de blocos do regulador de tensão Tipo I do IEEE (Fonte: Extraído de [50])

Tabela 5.5 – Parâmetros do Regulador de Velocidade

<i>Flyballs</i>	<i>Regulação</i>	$T_{fb}$	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_4$	$T_5$
0,01 pu	0,05 pu	0,2 s	0,3 s	1,0 s	1,0 s	0 s	0,1 s

Fonte: Extraído de [49]

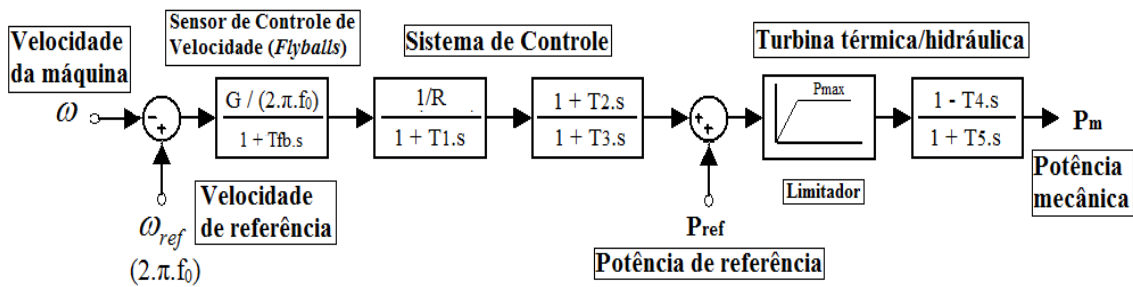


Figura 5.6 – Diagrama de blocos do regulador de velocidade (Fonte: Extraído de [50])

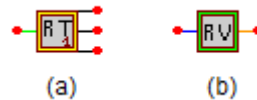


Figura 5.7 – Representação dos reguladores: (a) tensão e (b) velocidade (Fonte: Extraído de [50])

### 5.3. Representação do Sistema Elétrico

A representação completa do sistema elétrico simulado é ilustrada na Figura 5.8. Este sistema é composto pela subestação (SE1), oito barramentos (SE1, CG2, CG3, CG4, CG5, CG6,



CG7 e CG8), seis cargas (carga 1, carga 2, carga 3, carga 4, carga 5 e carga 6), gerador distribuído (GD), regulador de tensão e regulador de velocidade.

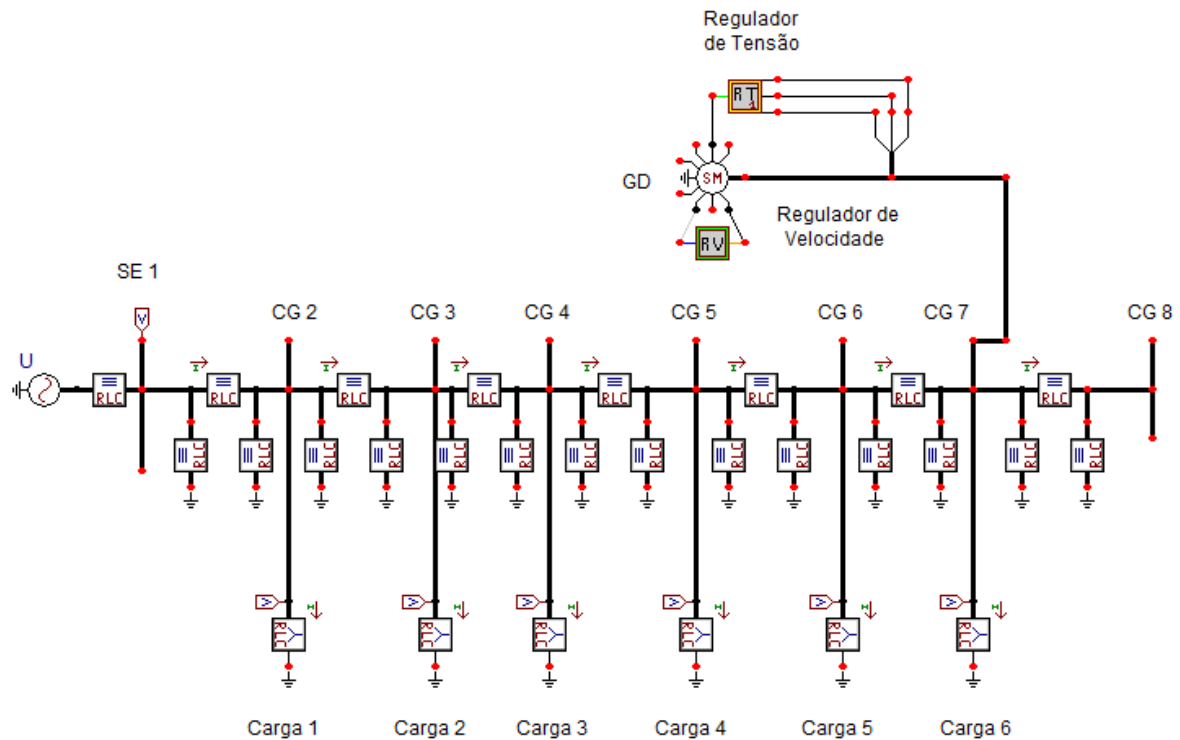


Figura 5.8 – Representação do sistema elétrico analisado (Fonte: Autor)

## 5.4. Estudos de Casos

Os estudos de caso possibilitaram avaliar a contribuição do gerador distribuído conectado a um alimentador de distribuição de 13,8 kV, quando o sistema é submetido a algumas perturbações. Para todos os estudos de casos foram realizadas inicialmente simulações com a perturbação no sistema elétrico sem a presença do gerador distribuído e, em seguida, foi aplicado o mesmo distúrbio com o gerador distribuído conectado ao sistema.

### 5.4.1. Curto-Circuito Trifásico

O primeiro estudo de caso realizado foi o curto-circuito trifásico, o qual é o curto-circuito mais severo que ocorre nos sistemas elétricos. O curto-circuito realizado é localizado no ramo CG5-CG6 a uma distância de 300 metros do barramento CG5 e 200 metros do

barramento CG6. Assim, foi necessário calcular os parâmetros da linha nesses trechos para representar corretamente essas distâncias no *software* ATP.

Para o cálculo dos novos parâmetros da linha nos trechos CG5 - Distúrbio e Distúrbio - CG6, foram consultados novamente os dados do catálogo do cabo CAA 336,4 do fabricante Nexans, o qual foi utilizado para representação de toda a linha de distribuição, conforme apresentado anteriormente neste capítulo. Em seguida, com as distâncias dos novos trechos e os dados do cabo foram obtidos os valores de resistência, indutância e capacitância para representação dos trechos da linha. Os valores para representação no *software* ATP dos novos trechos da linha são apresentados na Tabela 5.6 a seguir.

Tabela 5.6 – Valores das Linhas de Distribuição Próximas ao Curto-Circuito Trifásico

<i>Linha</i>	<i>Distância [m]</i>	<i>R [<math>\Omega</math>]</i>	<i>L[mH]</i>	<i>C[<math>\mu</math>F]</i>
CG5 – Distúrbio	300	0,06153	0,30	0,00352
Distúrbio – CG6	200	0,04102	0,20	0,00234

Fonte: Autor

O curto-circuito trifásico foi representado no *software* ATP como uma impedância aterrada nas três fases, com valor de 0,01 pu de resistência e  $1,0 \times 10^{-8}$  pu de indutância. Para a inserção desta impedância no instante de tempo desejado foi utilizado uma chave trifásica em série com a mesma. A representação do sistema elétrico com o curto-circuito trifásico é apresentada na Figura 5.9.

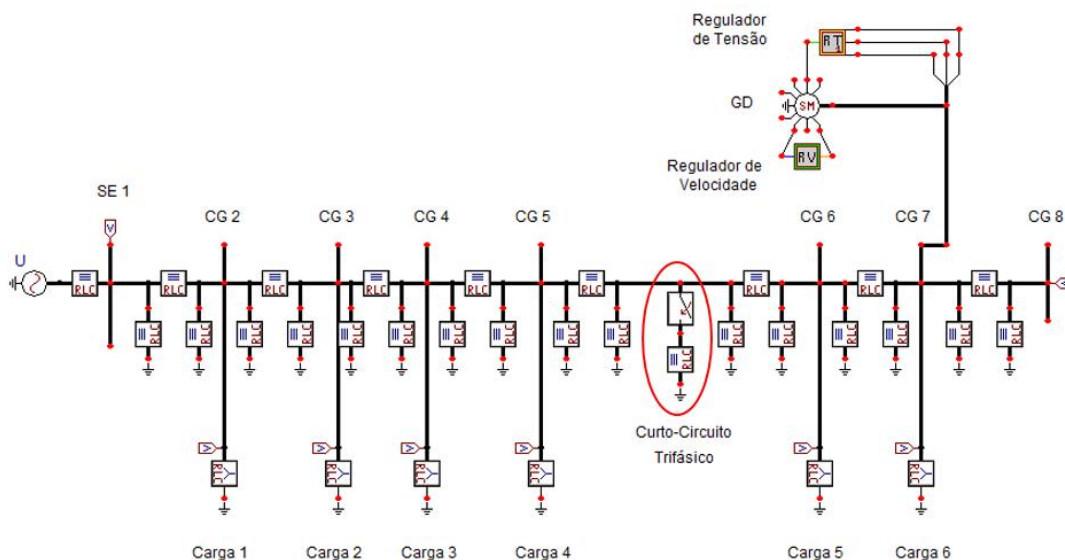


Figura 5.9 – Sistema elétrico com o curto-circuito trifásico (Fonte: Autor)

#### 5.4.1.1. Curto-Circuito Trifásico Sem o Gerador Distribuído

Inicialmente para análise do curto-circuito trifásico foi realizada a simulação sem a conexão do gerador distribuído no alimentador. O curto-circuito foi iniciado no instante de tempo de um segundo com duração de três ciclos, ou seja, de 0,05 segundos. O primeiro parâmetro observado foi o nível de tensão nos barramentos do sistema após a eliminação do curto-circuito e esses valores podem ser vistos na Tabela 5.7. Com a observação dessa tabela, nota-se que depois da eliminação da falta o sistema elétrico retorna aos seus valores normais de tensão, uma vez que, durante o curto-circuito as tensões apresentam valores muito pequenos.

Tabela 5.7 - Tensões do Sistema Com Curto-Circuito Trifásico e Sem GD

<i>Barramento</i>	<i>Tensão [pu]</i>
SE1	1,000
CG2	0,987
CG3	0,954
CG4	0,945
CG5	0,942
CG6	0,940
CG7	0,935
CG8	0,935

Fonte: Autor

A potência suprida pela subestação também foi avaliada sem a conexão do gerador distribuído no sistema elétrico. O gráfico com os valores das potências ativa e reativa fornecidas pela subestação pode ser visualizado na Figura 5.10.

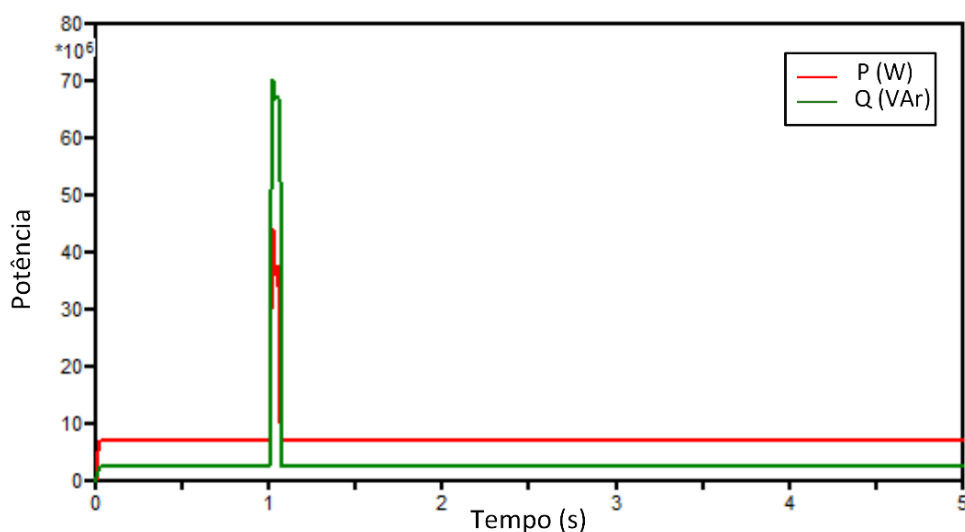


Figura 5.10 - Potências ativa e reativa da subestação com curto-circuito trifásico e sem GD (Fonte: Autor)

A potência ativa e a potência reativa proveniente da subestação durante o curto-circuito se elevaram expressivamente, atingindo valores máximos de 44,10 MW e 70,45 MVar, respectivamente. Com a eliminação do curto-circuito trifásico, as potências ativa e reativa retornaram aos seus valores iniciais apresentados antes da falta. Assim, a potência ativa fornecida pela subestação antes e após o distúrbio foi de 7,00 MW e a potência reativa de 2,60 MVar. Com a análise das tensões e do valor das potências após a eliminação da falta, constata-se que o sistema sem a presença do gerador distribuído é capaz de retornar ao seu funcionamento apresentado antes do distúrbio.

#### 5.4.1.2. Curto-Circuito Trifásico Com o Gerador Distribuído

Na segunda simulação, realizada para o sistema com curto-circuito trifásico, o gerador distribuído foi conectado ao sistema elétrico. O curto-circuito nessa simulação também foi iniciado no instante de tempo de um segundo e permaneceu por 0,05 segundos no sistema elétrico. Com a eliminação da falta foi observado o valor das tensões nos barramentos do sistema e estes valores podem ser visualizados na Tabela 5.8.

Tabela 5.8 - Tensões do Sistema Com Curto-Circuito Trifásico e Com GD

<i>Barramento</i>	<i>Tensão [pu]</i>
SE1	1,000
CG2	0,997
CG3	0,992
CG4	0,991
CG5	0,994
CG6	0,995
CG7	1,000
CG8	1,000

Fonte: Autor

Observa-se, pela tabela anterior, que as tensões nessa simulação também retornam ao valor normal e destaca-se a elevação do nível de tensão em todos os barramentos do alimentador, devido à presença do gerador distribuído no alimentador de distribuição.

Em seguida, foram observados os valores de potência fornecidos pela subestação. Durante o curto-circuito, a potência ativa máxima fornecida pela subestação foi de 44,56 MW e a potência reativa máxima de 70,58 MVar. Com a eliminação do curto-circuito no sistema elétrico, a subestação retorna o seu fornecimento de potência igual ao apresentado antes da falta, sendo a potência ativa de 5,04 MW e a potência reativa de 0,94 MVar. O gráfico com os valores de potência fornecidos pela subestação antes, durante e após o curto-circuito com o gerador presente no sistema elétrico, pode ser observado na Figura 5.11.

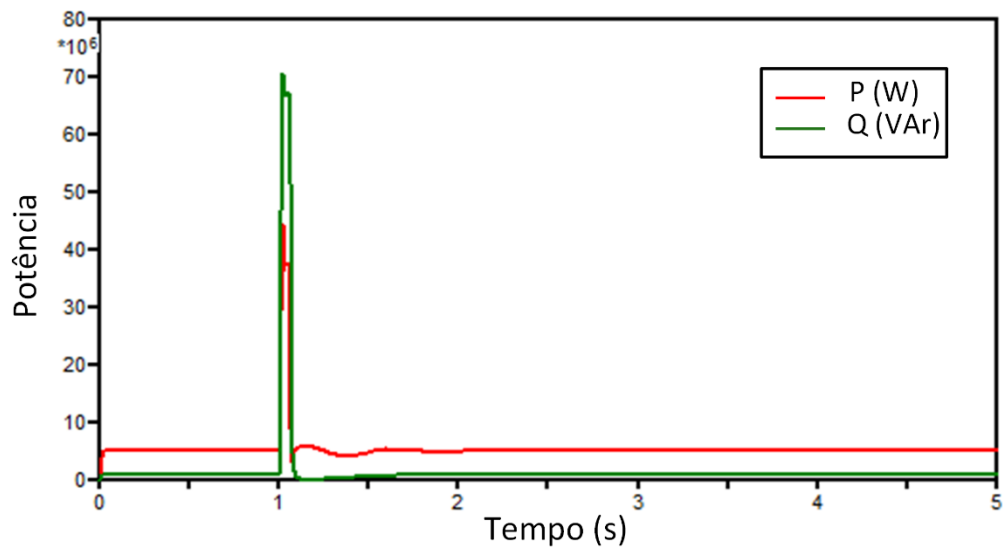


Figura 5.11 - Potências ativa e reativa da subestação com curto-circuito trifásico e com GD (Fonte: Autor)

O gráfico expondo os valores de potência ativa e potência reativa do gerador distribuído com o curto-circuito trifásico pode ser visto na Figura 5.12.

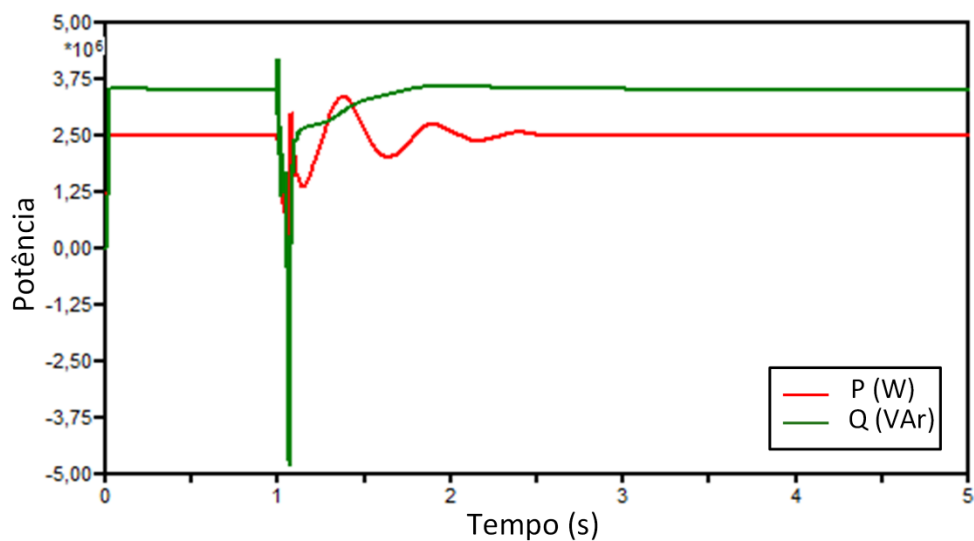


Figura 5.12 - Potências ativa e reativa do gerador distribuído com curto-circuito trifásico (Fonte: Autor)

O gerador distribuído após a eliminação da falta volta a fornecer os mesmos valores de potência supridos antes do distúrbio, sendo a potência ativa de 2,52 MW e a potência reativa de 3,50 MVar. Durante o curto-circuito, o gerador diminui o fornecimento de potência e após a eliminação da falta, o gerador apresenta valores negativos dessa grandeza, sendo a potência ativa de -0,84 MW e potência reativa de -4,60 MVar. Esses valores são negativos devido no instante de eliminação da falta a tensão nos terminais do gerador aumenta expressivamente

ficando superior à tensão interna do gerador. Assim, o gerador solicita potência do sistema até sua tensão interna voltar a ser superior à tensão em seu terminal.

Com a análise dos níveis de tensão e das potências fornecidas pela subestação e pelo gerador distribuído, constata-se que o sistema elétrico após o curto-circuito trifásico retorna à sua operação nominal apresentada antes da falta, quando este possui geração distribuída.

### 5.4.2. Curto-Circuito Fase-Terra Sólido

O segundo estudo de caso abordado consiste no curto-circuito fase-terra sólido, o qual ocorre com maior frequência no sistema elétrico de potência. Este curto-circuito foi realizado na fase C da linha CG5-CG6, no mesmo local do curto-circuito trifásico, ou seja, a uma distância de 300 metros do barramento CG5 e 200 metros do barramento CG6. As distâncias dos novos trechos da linha foram representadas no ATP exatamente da mesma forma que no estudo de caso do curto-circuito trifásico. O curto-circuito fase-terra sólido foi representado como uma resistência aterrada na fase C, com valor de  $1,0 \times 10^{-5}$  pu. A localização do curto-circuito fase-terra sólido, com sua devida representação, pode ser observada na Figura 5.13.

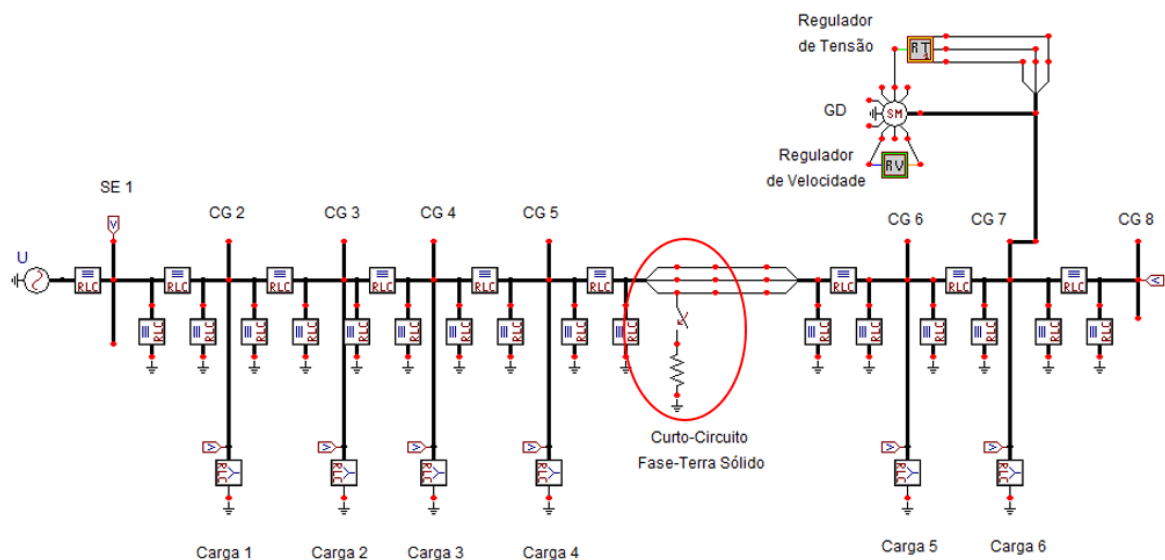


Figura 5.13 - Sistema elétrico com curto-circuito fase-terra sólido (Fonte: Autor)

#### 5.4.2.1. Curto-Circuito Fase-Terra Sólido Sem o Gerador Distribuído

Para o curto-circuito fase terra sólido, o distúrbio foi realizado no instante de tempo de um segundo com duração de três ciclos, assim, o mesmo foi eliminado no instante de 1,05 segundos. Inicialmente, foram analisados os valores de tensão nos barramentos do alimentador

após a eliminação da falta e esses valores são expostos na Tabela 5.9. Observa-se que, após a retirada da falta, as tensões retornaram aos seus valores normais, apresentando queda de tensão mais acentuada nos barramentos mais distantes da subestação.

Tabela 5.9 - Tensões do Sistema Com Curto-Circuito Fase Terra Sólido e Sem GD

<i>Barramento</i>	<i>Tensão [pu]</i>
SE1	1,000
CG2	0,987
CG3	0,954
CG4	0,945
CG5	0,942
CG6	0,939
CG7	0,935
CG8	0,935

Fonte: Autor

As potências fornecidas pela subestação durante o curto-circuito fase terra sólido atingiram valores elevados, sendo a potência ativa de 21,24 MW e a potência reativa de 26,19 MVar. Após a eliminação da falta, os valores de potência retornaram aos valores iniciais, sendo a potência ativa e potência reativa de 7,00 MW e 2,60 MVar, respectivamente. Esses valores são apresentados no gráfico da Figura 5.14.

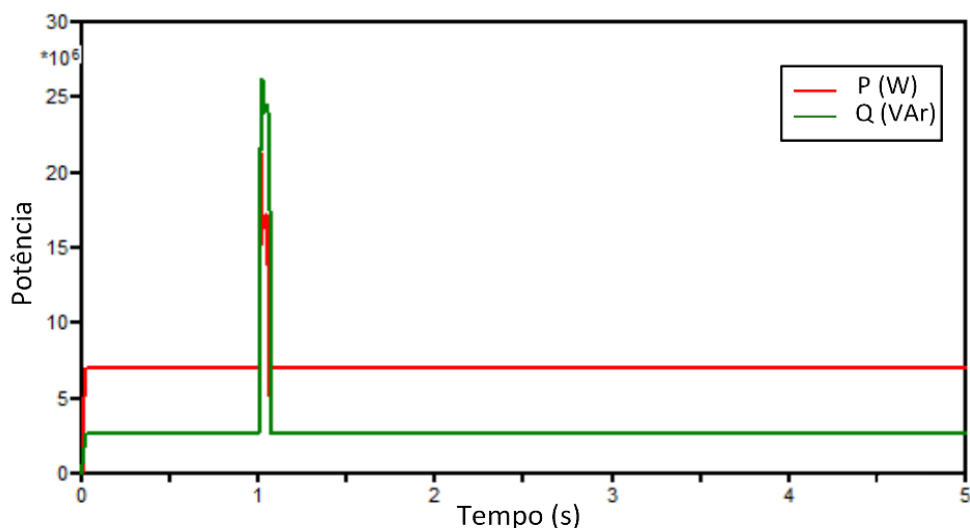


Figura 5.14 - Potências ativa e reativa da subestação com curto-circuito fase-terra sólido e sem GD  
(Fonte: Autor)

#### 5.4.2.2. Curto-Circuito Fase-Terra Sólido Com o Gerador Distribuído

Com o gerador distribuído conectado ao sistema elétrico o curto-circuito foi iniciado no mesmo instante de tempo da simulação anterior. Foi analisado o valor das tensões no

alimentador depois da retirada da falta e estes podem ser vistos na Tabela 5.10. Nota-se que, após a retirada da falta todos os barramentos apresentaram aumento do nível de tensão.

Tabela 5.10 - Tensões do Sistema Com Curto-Circuito Fase Terra Sólido e Com GD

<i>Barramento</i>	<i>Tensão [pu]</i>
SE1	1,000
CG2	0,996
CG3	0,991
CG4	0,991
CG5	0,992
CG6	0,994
CG7	1,000
CG8	1,000

Fonte: Autor

A potência ativa e a potência reativa provenientes da subestação quando há o gerador distribuído conectado ao alimentador, após o curto-circuito, retornam ao valor inicial de 5,04 MW e 0,93 MVar, respectivamente. Durante a falta, ambas as potências elevaram seus valores, a potência ativa atinge 22,66 MW e a potência reativa 28,31 MVar. O gráfico com os valores das potências fornecidas pela subestação é exposto na Figura 5.15.

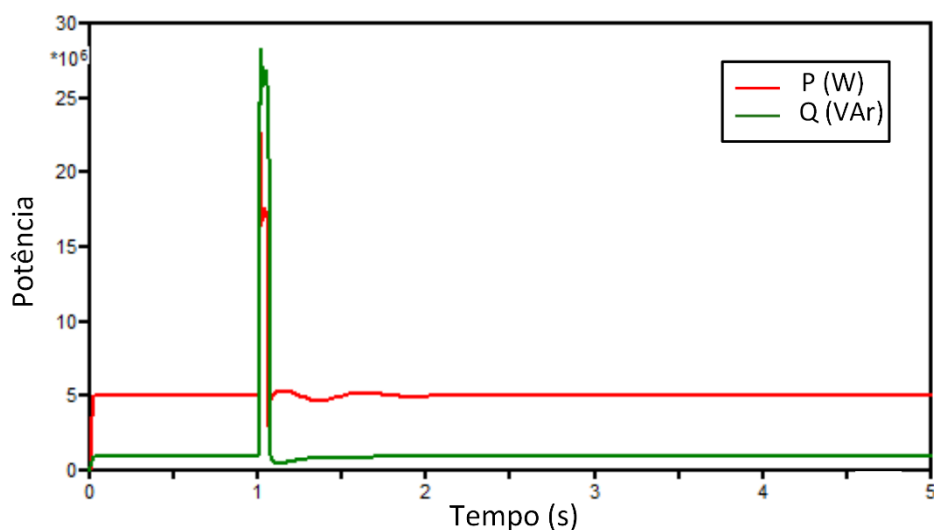


Figura 5.15 - Potências ativa e reativa da subestação com curto-circuito fase-terra sólido e com GD  
(Fonte: Autor)

O gerador distribuído após a eliminação da falta também voltou a fornecer os mesmos valores de potência apresentados antes do distúrbio, sendo a potência ativa de 2,52 MW e a potência reativa de 3,50 MVar. Durante o curto-circuito, o gerador distribuído apresentou uma queda no valor das potências e o valor mínimo atingido de potência ativa foi de 0,56 MW e de



potência reativa -0,89 MVar. Esses valores reduzidos são apresentados devido no instante da eliminação da falta a tensão interna do gerador é menor que a tensão presente neste instante em seus terminais e a máquina solicita potência do sistema até voltar à sua condição nominal de operação.

O gráfico com os valores de potência fornecidas pelo gerador distribuído antes, durante e depois da falta é apresentado na Figura 5.16. Neste estudo de caso, também observa-se que o sistema retorna à sua condição apresentada antes do distúrbio após a eliminação do mesmo.

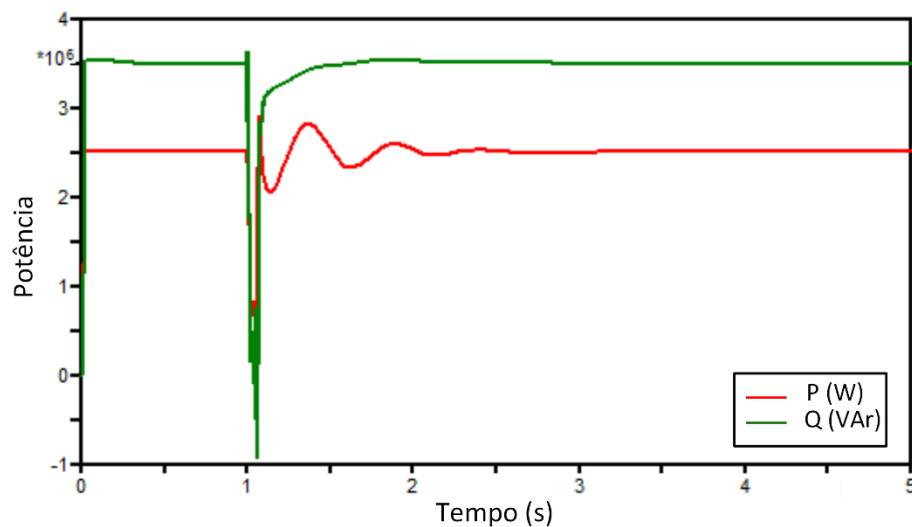


Figura 5.16 - Potências ativa e reativa do gerador distribuído com curto-circuito fase-terra sólido (Fonte: Autor)

### 5.4.3. Ilhamento

O terceiro estudo de caso analisado consiste no ilhamento de parte do sistema elétrico. O ilhamento foi realizado na linha CG5-CG6 com a abertura do disjuntor na saída do barramento CG5. Este procedimento foi representado no *software* ATP por uma chave trifásica. A representação do sistema elétrico, com a localização do disjuntor responsável pelo ilhamento, pode ser vista na Figura 5.17.

Com o ilhamento ocorreu a divisão do sistema elétricos em dois sistemas menores. O primeiro sistema elétrico passou a ser constituído pela subestação (SE1) e pelas quatro primeiras cargas (Carga 1, Carga 2, Carga 3 e Carga 4) e o segundo sistema passou a ser formado pelo gerador distribuído (GD) conectado ao barramento CG7, os controles desta máquina (regulador de tensão e regulador de velocidade) e pelas duas cargas finais do barramento (Carga 5 e Carga 6).

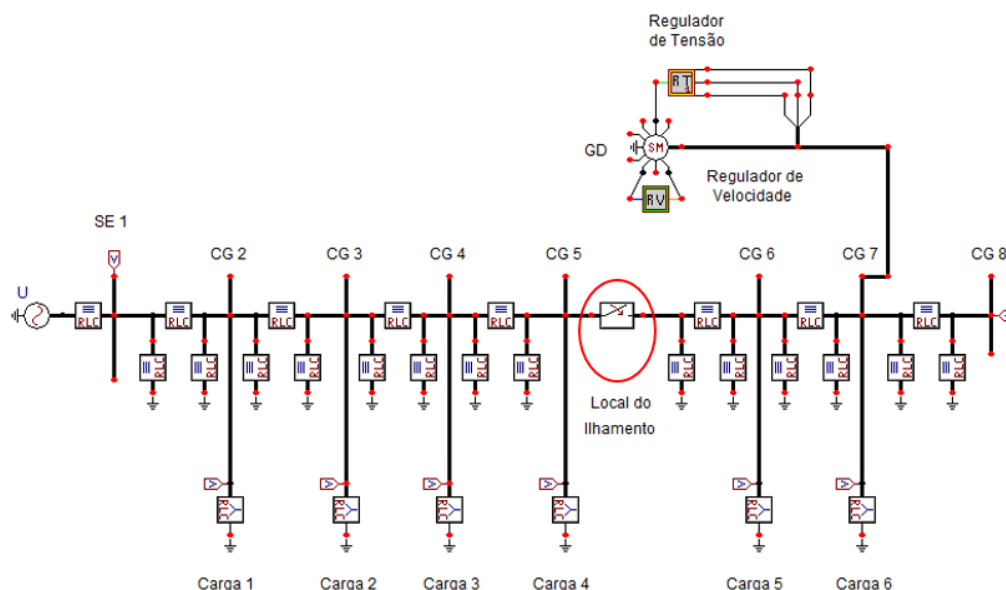


Figura 5.17 - Sistema elétrico com ilhamento (Fonte: Autor)

#### 5.4.3.1. Ilhamento Sem o Gerador Distribuído

O ilhamento de parte do sistema elétrico foi realizado no instante de tempo de um segundo. O primeiro parâmetro observado com a simulação foi o nível de tensão com o ilhamento em todos os barramentos do sistema elétrico, assim, os dados obtidos são apresentados na Tabela 5.11. Com a análise da tabela anterior, observa-se que os barramentos localizados após o ilhamento ficaram desenergizados, uma vez que, o alimentador é radial e os barramentos a jusante do distúrbio ficaram sem nenhuma fonte de energia.

Tabela 5.11 – Tensões do Sistema Com Ilhamento e Sem GD

<i>Barramento</i>	<i>Tensão [pu]</i>
SE1	1,000
CG2	0,992
CG3	0,975
CG4	0,969
CG5	0,967
CG6	0,000
CG7	0,000
CG8	0,000

Fonte: Autor

A potência fornecida pela subestação com o ilhamento também foi analisada. A potência ativa passou de 7,00 MW antes do ilhamento para 4,35 MW depois do mesmo e a potência reativa variou de 2,60 MVar para 1,49 MVar. Observa-se uma diminuição da potência ativa e reativa fornecidas pela subestação, uma vez que, com o ilhamento a subestação passou a

fornecer potência para uma quantidade menor de cargas no alimentador. O gráfico da potência ativa e reativa fornecidas pela subestação com o ilhamento e sem o gerador distribuído é ilustrado na Figura 5.18.

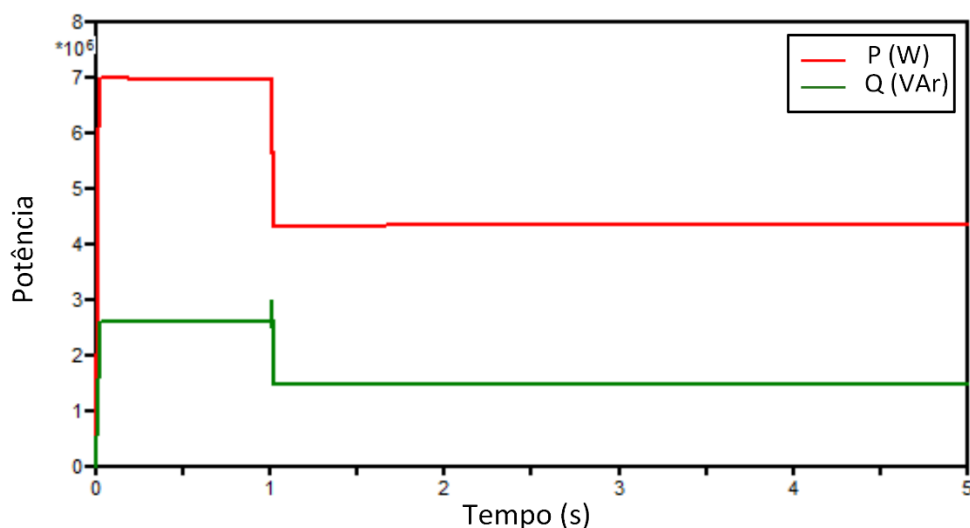


Figura 5.18 - Potências ativa e reativa da subestação com ilhamento e sem GD (Fonte: Autor)

#### 5.4.3.2. Ilhamento Com o Gerador Distribuído

Em seguida, foi realizado o mesmo distúrbio no sistema elétrico, no instante de tempo de um segundo, considerando o gerador distribuído conectado ao mesmo. Assim, o gerador distribuído passou a fornecer potência para as cargas 5 e 6, antes desenergizadas, as quais totalizam 2,77 MVA de potência aparente, sendo 2,64 MW de potência ativa e 0,84 MVA<sub>r</sub> de potência reativa. Assim, as tensões finais em todos os barramentos do alimentador com o ilhamento de parte do sistema elétrico podem ser vistas na Tabela 5.12. Com a análise desta tabela, observa-se que, o gerador distribuído foi essencial para suprir a demanda das cargas 5 e 6, as quais sem essa fonte geradora permaneceriam sem energia elétrica.

Tabela 5.12 – Tensões do Sistema Com Ilhamento e Com GD

<i>Barramento</i>	<i>Tensão [pu]</i>
SE1	1,000
CG2	0,993
CG3	0,975
CG4	0,970
CG5	0,969
CG6	0,999
CG7	1,000
CG8	1,000

Fonte: Autor

A potência suprida pela subestação com o sistema elétrico ilhado e considerando o gerador distribuído presente na simulação também foi analisada. A subestação alterou seu fornecimento de potência ativa antes do distúrbio de 5,04 MW para 4,35 MW com o ilhamento. Essa diminuição ocorreu devido a subestação antes do ilhamento contribuir com potência ativa para atender a demanda das cargas 5 e 6, as quais com o distúrbio passaram a ter sua demanda atendida exclusivamente pelo gerador distribuído.

A potência reativa alterou de 0,92 MVar para 1,49 MVar com o ilhamento. Essa grandeza aumentou devido ao fato de que antes do distúrbio a demanda de potência reativa era suprida pela subestação e pelo gerador distribuído. Este fornecia potência reativa para elevar o nível de tensão de todos os barramentos do sistema elétrico. Com o distúrbio, a subestação passou a ser responsável por suprir à quantidade total de potência reativa necessária para manter os níveis de tensão nos mesmos valores anteriores ao ilhamento.

Os valores de potência ativa e potência reativa fornecidos pela subestação após o ilhamento nas simulações sem a presença do gerador distribuído e nas simulações com a conexão do mesmo são exatamente iguais. O gráfico das potências ativa e reativa fornecidas pela subestação, considerando o gerador distribuído presente no sistema elétrico, pode ser observado na Figura 5.19.

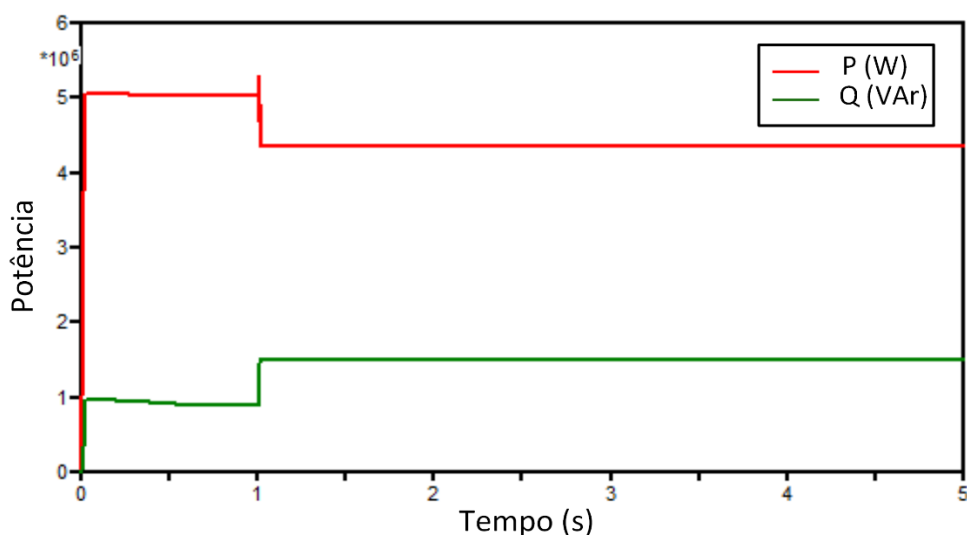


Figura 5.19 - Potências ativa e reativa da subestação com ilhamento e com GD (Fonte: Autor)

O gerador distribuído alterou sua potência ativa de 2,51 MW para 3,08 MW após o ilhamento. Esse aumento ocorreu porque, antes do ilhamento, a potência ativa era suprida pela

subestação e pelo gerador distribuído, mas com o ilhamento, as cargas 5 e 6 passaram a ter suas demandas de potência ativa supridas apenas pelo gerador distribuído.

A potência reativa fornecida pelo gerador distribuído variou de 3,49 MVar para 0,78 MVar, antes e após o ilhamento, respectivamente. A redução deste valor é ocasionada pela diminuição do sistema elétrico atendido pelo gerador distribuído, uma vez que, antes do ilhamento o gerador distribuído contribuía com potência reativa para elevar o nível de tensão de todas as barras do sistema. O gráfico com os valores de potência ativa e potência reativa fornecidas pelo gerador distribuído pode ser observado na Figura 5.20 a seguir.

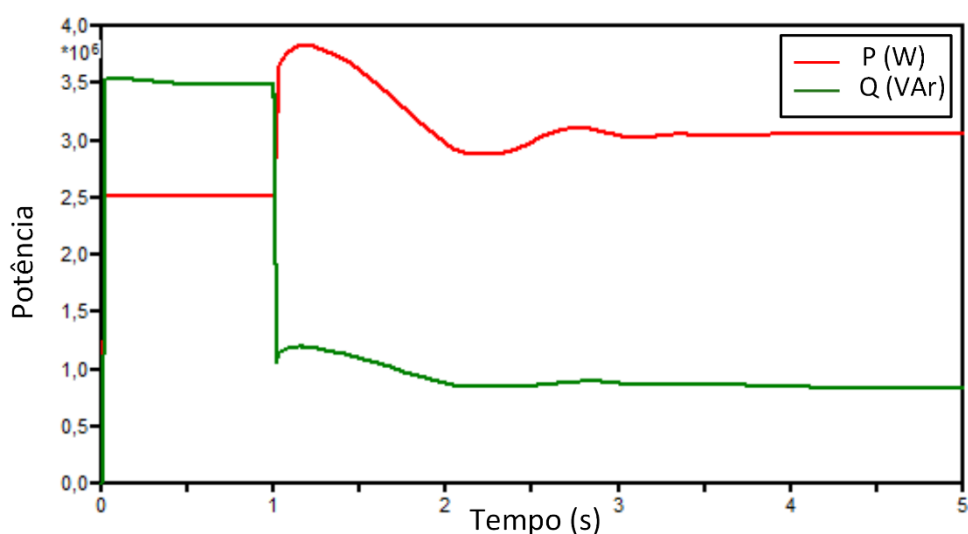


Figura 5.20 - Potências ativa e reativa do gerador distribuído com ilhamento (Fonte: Autor)

#### 5.4.4. Aumento de Carga

O quarto fenômeno analisado foi o aumento de carga no alimentador de distribuição. A nova carga foi inserida no último barramento do sistema elétrico, ou seja, no barramento CG8. O aumento de carga corresponde a 10% do carregamento inicial do alimentador, assim, esta carga apresenta 673 kW de potência ativa e 214 kVAr de potência reativa. A nova carga também foi modelada como impedância constante, conforme as demais cargas presentes no sistema. Os valores da carga em potência ativa, potência reativa, resistência e indutância podem ser observados na Tabela 5.13.

Tabela 5.13 – Valores da Carga Inserida no Barramento CG8

$P[kW]$	$Q[kVAr]$	$R[\Omega]$	$L[mH]$
673	214	224,22	189,10

Fonte: Autor

Para inserir a nova carga após o início da simulação, no instante de tempo de um segundo, também foi utilizada uma chave trifásica em série com a mesma. A representação do sistema elétrico com a aumento de carga, gerador síncrono, reguladores de tensão e velocidade podem ser observados na Figura 5.21.

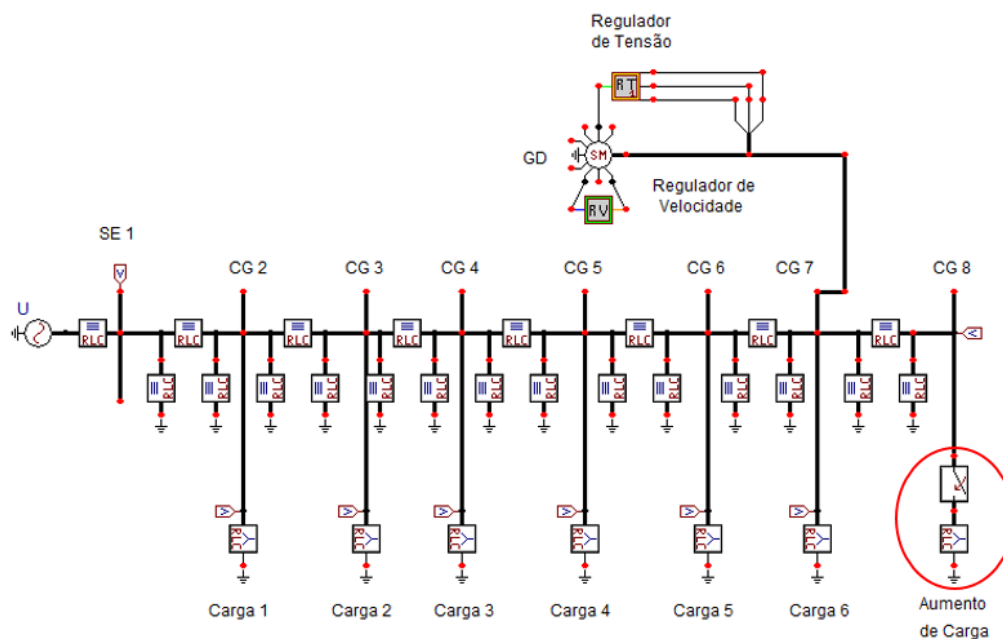


Figura 5.21 – Sistema elétrico com aumento de carga (Fonte: Autor)

#### 5.4.4.1. Aumento de Carga Sem o Gerador Distribuído

Nessa simulação foi observado o comportamento do sistema elétrico após a inserção de uma nova carga em sua extremidade, sem o auxílio de fontes extras de geração de energia elétrica. A primeira grandeza analisada consiste no nível de tensão das barras do alimentador após a inserção da nova carga no mesmo e esses podem ser visualizados na Tabela 5.14.

Tabela 5.14 – Tensões do Sistema Com Aumento de Carga e Sem GD

<i>Barramento</i>	<i>Tensão [pu]</i>
SE1	1,000
CG2	0,986
CG3	0,950
CG4	0,940
CG5	0,936
CG6	0,933
CG7	0,927
CG8	0,926

Fonte: Autor

Com a análise detalhada da tabela anterior, verifica-se que os níveis de tensão nos barramentos CG7 e CG8 apresentaram tensões consideradas precárias, segundo o PRODIST. Neste documento é especificado que para níveis de tensão nominal superior a 1 kV e inferior a 69 kV, a tensão de leitura é considerada precária quando está entre as faixas de 0,90 e 0,93 em relação à tensão de referência [51].

A potência fornecida pela subestação nessa condição de simulação também foi analisada. A potência ativa alterou de 7,00 MW antes do aumento de carga para 7,63 MW após esse aumento e a potência reativa variou de 2,60 MVar antes da inserção da carga para 2,90 MVar após. A elevação de potência ativa e reativa fornecidas pela subestação ocorreram devido ao aumento de carga no alimentador e a subestação ser a única fonte responsável por atender a essa demanda no sistema elétrico analisado. O gráfico com os valores de potência ativa e potência reativa pode ser visualizado na Figura 5.22.

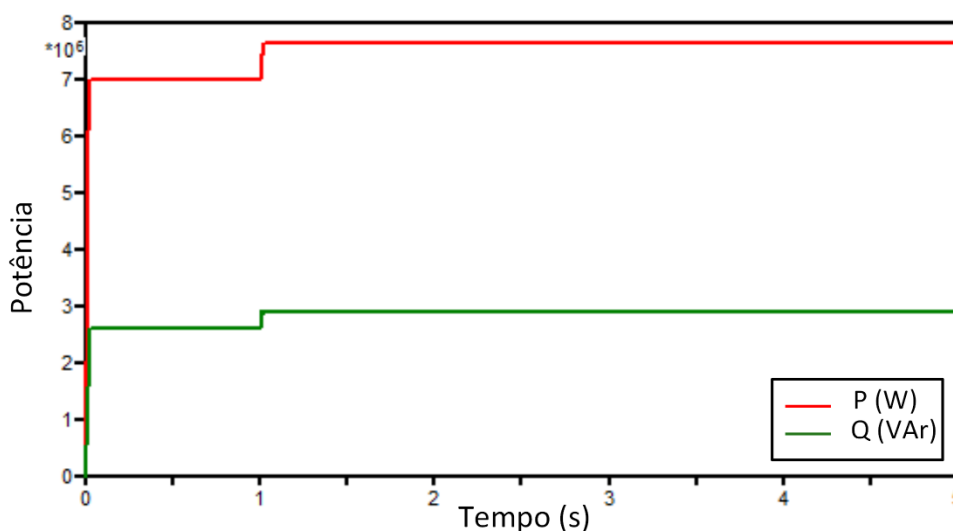


Figura 5.22 – Potências ativa e reativa da subestação com aumento de carga e sem GD (Fonte: Autor)

#### 5.4.4.2. Aumento de Carga Com o Gerador Distribuído

A próxima simulação analisada apresentava o gerador distribuído conectado ao sistema elétrico e a nova carga no barramento CG8. Os níveis de tensão em todos os barramentos do alimentador, nessa nova configuração do sistema elétrico, são apresentados na Tabela 5.15. Com a observação desta tabela, nota-se um aumento do nível de tensão de todos os barramentos do alimentador e destaca-se a melhora do nível de tensão dos barramentos CG7 e CG8, os quais apresentavam tensão precária e com a presença do gerador distribuído passam a ter níveis de tensão adequado, segundo a classificação do PRODIST [51].

Tabela 5.15 – Tensões do Sistema Com Aumento de Carga e Com GD

<i>Barramento</i>	<i>Tensão [pu]</i>
SE1	1,000
CG2	0,996
CG3	0,990
CG4	0,990
CG5	0,992
CG6	0,994
CG7	1,000
CG8	0,999

Fonte: Autor

A subestação antes do aumento de carga e com o gerador distribuído fornecia 5,04 MW de potência ativa e, após a inserção da carga, passou a fornecer 5,84 MW. Este aumento da potência ativa ocorreu devido a subestação suprir toda a demanda de potência ativa da nova carga, uma vez que, nas simulações esta opera como um barramento infinito.

A potência reativa fornecida pela subestação alterou seu valor de 0,92 MVar antes da inserção da carga para 1,28 MVar depois da inserção da mesma. O aumento dessa grandeza ocorreu devido a subestação fornecer potência reativa para atender à demanda da nova carga e também para manter os níveis de tensão dos barramentos com valores adequados, uma vez que, quando há mais carga na extremidade do alimentador, há maior queda de tensão em todos os barramentos do sistema elétrico. O gráfico com os valores de potência ativa e reativa fornecidos pela subestação com o aumento de carga e o gerador distribuído pode ser visto na Figura 5.23.

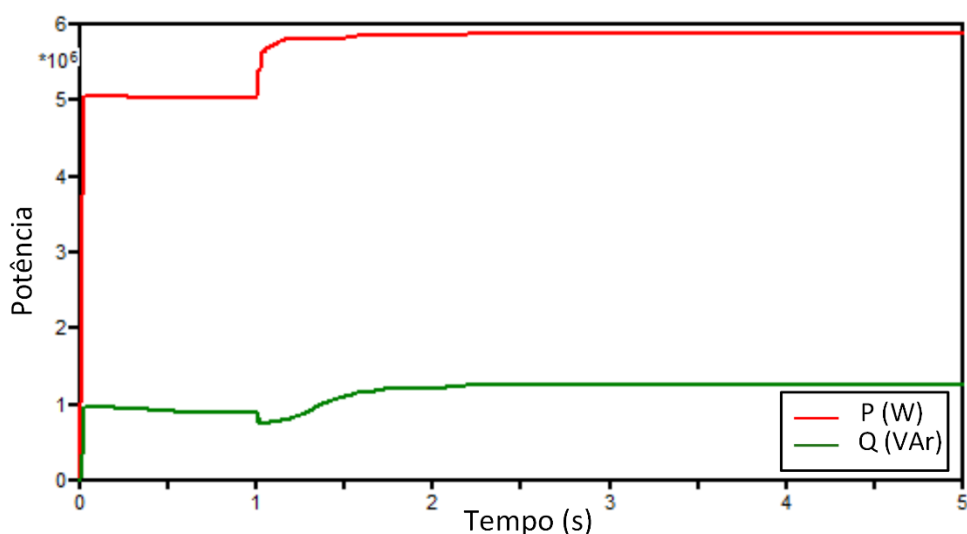


Figura 5.23 – Potências ativa e reativa da subestação com aumento de carga e com GD (Fonte: Autor)



A potência ativa do gerador distribuído permaneceu com o mesmo valor de 2,51 MW, sem ou com o aumento de carga no alimentador. Esse fenômeno ocorre devido a potência ativa necessária para atender à nova carga ser totalmente suprida pela subestação.

A potência reativa do gerador distribuído altera o seu valor de 3,49 MVar antes do aumento de carga para 4,19 MVar após o aumento. O aumento dessa grandeza ocorreu devido ao gerador distribuído contribuir com potência reativa para atender a demanda da carga nova e elevar o nível de tensão dos barramentos do sistema, pois com o aumento de carga, a queda de tensão nos barramentos é maior. O gráfico com os valores de potências ativa e reativa provenientes do gerador distribuído com o aumento de carga é apresentado na Figura 5.24.

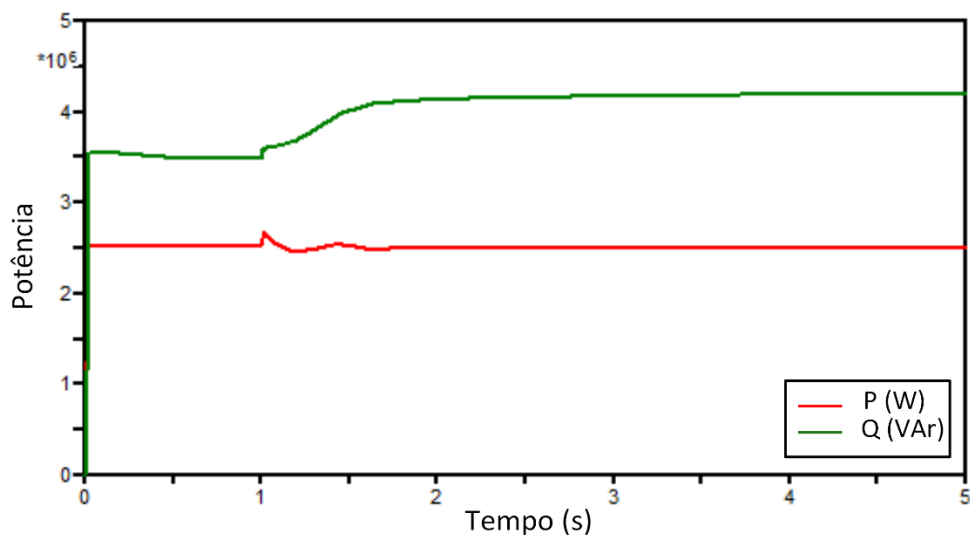


Figura 5.24 – Potências ativa e reativa do gerador distribuído com aumento de carga (Fonte: Autor)

## 5.5. Considerações Finais

Neste capítulo foram apresentados os estudos de casos de geração distribuída com a finalidade de avaliar os efeitos desse tipo de geração em um alimentador de distribuição, quando neste ocorre alguns distúrbios comuns apresentados no sistema elétrico. Para esse estudo, foram realizadas simulações dos distúrbios no alimentador considerando sem a conexão do gerador distribuído e após a conexão do mesmo.

O presente capítulo também apresentou toda a modelagem necessária para a representação do sistema elétrico no *software* ATP. Assim, foram descritos detalhadamente os requisitos necessários para a correta representação dos seguintes elementos: subestação, cargas,

linhas de distribuição, gerador distribuído, regulador de tensão e regulador de velocidade. Com a modelagem do sistema elétrico foi realizada todas as simulações necessárias para o estudo.

Nos estudos de casos do curto-circuito trifásico e do curto-circuito fase terra sólido constatou-se que o sistema elétrico, sem ou com a conexão do gerador distribuído no alimentador, consegue retornar à sua operação nominal após eliminada a falta do sistema. Em ambos os estudos de casos, depois da eliminação do distúrbio, o sistema apresentou os mesmos valores de tensão e potência fornecida pela subestação e pelo gerador distribuído. A principal diferença destes estudos de casos consiste no valor de potência ativa e reativa proveniente da subestação e do gerador distribuído durante o curto-circuito, sendo as potências durante o curto-circuito trifásico maiores que no curto-circuito fase terra sólido.

Para o estudo de caso do ilhamento observou-se que, a presença do gerador distribuído foi decisiva para garantir a alimentação das cargas ilhadas, uma vez que, o alimentador é radial e sem o gerador distribuído as cargas após o distúrbio ficariam sem energia elétrica. Os valores de tensão nas cargas após o ilhamento foram próximos do nominal, pois a potência total das mesmas é inferior à potência nominal do gerador distribuído. Também foi constatado que a potência ativa fornecida pela subestação diminuiu.

O estudo de caso correspondente ao aumento de carga no alimentador possibilitou analisar que sem o gerador distribuído presente no sistema elétrico as tensões em alguns barramentos do alimentador ficaram com níveis precários. Com o gerador distribuído conectado ao sistema elétrico, observou-se que o alimentador apresentou tensões adequadas e o nível de tensão em todos os barramentos aumentaram.

Com a realização dos estudos de casos foi possível avaliar a influência que o gerador distribuído possui em um alimentador de distribuição de média tensão na presença de distúrbios comuns do sistema elétrico. Observou-se que, o gerador distribuído contribuiu para melhorar o nível de tensão em todos os barramentos do alimentador e diminuir a demanda de potência solicitada da subestação. Assim, o gerador distribuído contribui para reduzir as obras de reforço do sistema elétrico, permite uma maior oferta de energia no sistema e diminuem o carregamento das linhas de distribuição.

# CAPÍTULO 6

---

## CONCLUSÃO

O presente trabalho aborda inicialmente no capítulo 1 os principais fatores que contribuíram para aumentar a utilização da geração distribuída, os quais são: o aumento da demanda de energia elétrica e a necessidade de diversificação da matriz energética mundial e nacional. Também foram delineados os principais objetivos esperados com a realização desta pesquisa, as contribuições pretendidas e a estrutura da mesma para que possa ser exposto de forma objetiva o trabalho realizado com esta dissertação.

O capítulo 2 abrangeu os conceitos primordiais relacionados a geração distribuída. Foi apresentado inicialmente as diferenças mais relevantes entre a geração distribuída e a geração centralizada, sendo destacados os termos mais comuns utilizados para determinar a geração distribuída e, também, relatados os diversos conceitos empregados para classificar a geração distribuída mundialmente e no Brasil. Neste capítulo, foram expostos as principais vantagens e desvantagens da utilização da geração distribuída no sistema elétrico, abordando também as principais fontes energéticas empregadas na geração distribuída, sejam elas renováveis ou não-renováveis. Assim, este capítulo possibilitou conhecer de maneira mais clara e ampla as características da geração distribuída e compreender de forma objetiva como esse tipo de geração pode ser empregada. Portanto, neste capítulo foram atendidos os quatro primeiros objetivos dessa dissertação apresentados no primeiro capítulo.

O capítulo 3 apresentou a legislação brasileira sobre geração distribuída, sendo inicialmente destacada a sua importância e os principais motivos que incentivaram a elaboração de regulamentação própria. Em sequência, foram descritas todas as normas relacionadas com

---

geração distribuída empregadas no país e as normas com maior relevância para esse tipo de geração, evidenciando suas contribuições para a consolidação da geração distribuída no setor nacional. Assim, foram apresentadas minuciosamente a resolução normativa nº 482/2012 e a seção 3.7 do módulo 3 do PRODIST, a qual se dedica exclusivamente sobre o acesso de microgeração e minigeração distribuída. Com a legislação abordada, este capítulo permitiu entender de forma clara a importância da legislação sobre geração distribuída, a evolução da legislação sobre esse assunto e principalmente compreender de maneira simples a legislação em vigor sobre esse tipo de geração. Dessa forma, foram atingidos os objetivos de número cinco e seis propostos no primeiro capítulo desta dissertação.

No capítulo 4 foram apresentadas as normas técnicas referentes a geração distribuída utilizadas pelas distribuidoras de energia elétrica brasileiras e também estrangeiras. Nas normas nacionais, constatou-se que a maioria das distribuidoras disponibilizam normas específicas de geração distribuída à população, cumprindo, dessa forma, a determinação contida na resolução normativa em vigor. Também foi observado que o conteúdo das normas técnicas nacionais atende corretamente as especificações da legislação brasileira atual. Com isso, pode-se concluir que as normas técnicas nacionais contemplam as especificações necessárias para a correta regulação do setor.

Ainda no capítulo 4 também mostrou-se as perspectivas futuras para a legislação de geração distribuída no Brasil. A legislação vigente constitui em um dos primeiros incentivos para a utilização da geração distribuída no Brasil, assim, com o crescimento de sua inserção na matriz energética brasileira conclui-se que é necessária uma revisão da legislação. Dessa forma, a ANEEL com o intuito de atualizar as normas existentes abriu a consulta pública com o objetivo de receber contribuições para melhor atender aos interessados nesse tipo de geração de energia elétrica e garantir o funcionamento adequado da mesma. Neste capítulo, foram atingidos os objetivos sete, oito e nove estabelecidos no primeiro capítulo.

No capítulo 5 foram apresentados os estudos de casos sobre a geração distribuída. Inicialmente neste capítulo foi exposto a modelagem do sistema elétrico para a sua correta representação no *software* escolhido para realizar as simulações. Uma vez representado o sistema elétrico, foram realizadas as simulações de quatro distúrbios no sistema, os quais são: curto-circuito trifásico, curto-circuito fase terra sólido, ilhamento de parte do alimentador e aumento de carga.

Com as simulações presentes no capítulo 5, foi possível analisar o comportamento do sistema elétrico quando submetido a distúrbios e com a presença de uma unidade de geração distribuída. Assim, foi constatado que depois da eliminação do curto-circuito trifásico e do

curto-circuito fase terra sólido do sistema elétrico, o mesmo retornou à sua operação nominal, independente do gerador distribuído estar conectado ao alimentador. Para a simulação com ilhamento, concluiu-se que o gerador distribuído foi fundamental para atender as cargas ilhadas, uma vez que, o sistema simulado é radial. Nas simulações com o aumento de carga, observou-se que o gerador distribuído foi essencial para elevar o nível de tensão em todos os barramentos do alimentador, contribuindo para que todos os níveis de tensão sejam considerados adequados. Assim, com este capítulo foi atingido o último objetivo proposto nesta dissertação.

Para o maior desenvolvimento do tema desta dissertação, sugere-se que os trabalhos futuros se direcionem a determinar soluções de forma a minimizar as desvantagens da utilização de geração distribuída, contribuindo para sua inserção cada vez maior na matriz energética nacional e mundial. Uma das principais desvantagens desse tipo de geração, a qual carece de maiores estudos, consiste no ajuste adequado dos dispositivos de proteção. Estes dispositivos foram elaborados para funcionarem em sistemas elétricos com fluxo de potência unidirecional e com a geração distribuída a configuração do sistema é alterada para bidirecional, dificultando o emprego adequado dos dispositivos de proteção.

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

- [1] UNITED NATIONS POPULATION FUND. Divisão de Informações e Relações Externas do UNFPA. **Relatório Sobre a Situação da População Mundial 2011**. New York, 2011. 143 p.
  - [2] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Consumo de Energia no Brasil Análise Setoriais**. Rio de Janeiro, 2014. 116 p.
  - [3] EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica**. Ano VII. Número 79. Rio de Janeiro, 2014. 4 p.
  - [4] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Key World Energy Statistics**. Paris, 2013. 82 p.
  - [5] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Capacidade de Geração do Brasil**. Disponível em:< <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em 12 jul. 2014.
  - [6] SANTOS, F. A.; SANTOS, F. M. **Geração Distribuída Versus Centralizada**. Revista Millenium, n°. 35, nov. 2008.
  - [7] GONZALEZ-LONGATT, F.; FORTOUL, C. Review of the Distributed Generation Concept: Attempt of Unification, In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON RENEWABLE ENERGIES AND POWER QUALITY, 05, 2005, Zaragoza. **Papers ICREPQ'05**. Zaragoza, 2005, n. 275.
  - [8] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST**. Módulo 1 – Introdução. Revisão 6. 2012, 61 p.
  - [9] 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. 2012, 5 p.
- [10] GONÇALVES, L. F. **Contribuições Para o Estudo Teórico e Experimental de Sistemas de Geração Distribuída**. 2004. 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.
- [11] WOTTRICH, B. **Modelo Para Análise Econômica e Financeira em Projetos de Geração Distribuída de Energia com Fontes Alternativas**. 2010. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Centro de Estudos em Energia e Meio Ambiente, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.
- [12] LUIZ, C. M. **Avaliação dos Impactos da Geração Distribuída para a Proteção do Sistema Elétrico**. 2012. 151 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.
- [13] BARBOSA FILHO, W. P.; AZEVEDO, A. C. S. de. Geração distribuída: vantagens e desvantagens. In: Simpósio de Estudos e Pesquisas em Ciências Ambientais na Amazônia, 2, 2013, Belém. **Anais do II Simpósio de Estudos e Pesquisas em Ciências Ambientais na Amazônia – Volume II**. Belém, 2013, 126 – 135 p.
- [14] ROMAGNOLI, H. C. **Identificação de Barreiras à Geração Distribuída no Marco Regulatório Atual do Setor Elétrico Brasileiro**. 2005. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.
- [15] GUEDES, L. M. **Localização e Dimensionamento de Unidades de Geração Distribuída em Redes de Distribuição Radiais**. 2006. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.
- [16] REZENDE, J. O. **Determinação de Processos para Levantamento Prático das Curvas Características de Painéis Fotovoltaicos**. 2012. 117 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, 2012.
- [17] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 343, de 9 de Dezembro de 2008**. Estabelece procedimentos para registro, elaboração, aceite, análise, seleção e aprovação de projeto básico e para autorização de aproveitamento de potencial de energia hidráulica com características de Pequena Central Hidrelétrica – PCH. 2008.

- [18] MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Biomassa**. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/clima/energia/energias-renovaveis/biomassa>>. Acesso em: 10 jul. 2014.
- [19] CATAPAN, A.; CATAPAN, D. C.; CATAPAN, E. A. Formas alternativas de geração de energia elétrica a partir do biogás: uma abordagem do custo de geração da energia. In: **Custos e Agronegócio Online, n. 1. Custos e Agronegócio Online, ISSN 1808-2882, Recife, volume 7, número 1, p. 1-160, Janeiro/Abril. 2011**. Recife, 2011. 25 – 37 p.
- [20] INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. **O que é cogeração**. Disponível em:< [http://www.inee.org.br/forum\\_co\\_geracao.asp?Cat=gd](http://www.inee.org.br/forum_co_geracao.asp?Cat=gd)>. Acessado em: 15 jul. 2014.
- [21] BONA, F. S. de. As Microturbinas e a Geração Distribuída. In: Encontro de Energia no Meio Rural e Geração Distribuída, 5. 2004, Campinas. **Anais do 5º Encontro de Energia no Meio Rural e Geração Distribuída**. Campinas, 2004. 10 p.
- [22] FURNA. **Usina Termelétrica Convencional**. Disponível em: < [http://www.furnas.com.br/hotsites/sistema-furnas/usina\\_term\\_funciona.asp](http://www.furnas.com.br/hotsites/sistema-furnas/usina_term_funciona.asp)>. Acessado em: 17 jul. 2014.
- [23] LORA, E. E. S.; HADDAD, J. **Geração Distribuída Aspectos Tecnológicos, Ambientais e Institucionais**. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.
- [24] PAULA, R. B. **Projeto e Avaliação Teórica e Experimental de Sistemas de Geração de Eletricidade A Partir da Biomassa Utilizando Motores Stirling**. 2007. 178 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2007.
- [25] BRASIL. **Portal da Legislação**. Disponível em: < <http://www4.planalto.gov.br/legislacao>>. Acessado em: 3 ago. 2014.
- [26] BRASIL. **Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996**. Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, disciplina o regime das concessões de serviços públicos de energia elétrica e dá outras providências. Brasília, 1996.
- [27] BRASIL. **Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002**. Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), dispõe sobre a universalização do serviço público de energia elétrica, dá nova redação às Leis nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996, nº



- 9.648, de 27 de maio de 1998, nº 3.890-A, de 25 de abril de 1961, nº 5.655, de 20 de maio de 1971, nº 5.899, de 5 de julho de 1973, nº 9.991, de 24 de julho de 2000, e dá outras providências. Brasília, 2002.
- [28] BRASIL. **Lei nº 10.848, de março de 2004**. Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica, altera as Leis nºs 5.655, de 20 de maio de 1971, 8.631, de 4 de março de 1993, 9.074, de 7 de julho de 1995, 9.427, de 26 de dezembro de 1996, 9.478, de 6 de agosto de 1997, 9.648, de 27 de maio de 1998, 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.438, de 26 de abril de 2002, e dá outras providências. Brasília, 2004.
- [29] 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. Brasília, 2004.
- [30] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 77, de 18 de agosto de 2004**. Estabelece os procedimentos vinculados à redução das tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição, para empreendimentos hidroelétricos e aqueles com base em fonte solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, cuja potência injetada nos sistemas de transmissão e distribuição seja menor ou igual a 30.000 kW. 2004.
- [31] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 167, de 10 de outubro de 2005**. Estabelece as condições para a comercialização de energia proveniente de Geração Distribuída. 2005.
- [32] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 345, de 16 de dezembro de 2008**. Aprova os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, e dá outras providências. 2008.
- [33] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Aviso de Consulta Pública nº 015/2010**. 2010.
- [34] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Aviso de Audiência Pública nº 042/2011**. 2011.
- [35] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 517, de 11 de dezembro de 2012**. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e o Módulo 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. 2012.
- [36] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 414, de 9 de setembro de 2010**. Estabelece as Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica de forma atualizada e consolidada. 2010.

- [37] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST**. Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição. Revisão 5. 2012, 86 p.
- [38] AES ELETROPAULO. **NT – 6.012**: Requisitos Mínimos para Interligação de Microgeração e Minigeração Distribuída com a Rede de Distribuição da AES Eletropaulo com Paralelismo Permanente Através do Uso de Inversores - Consumidores de Média e de Baixa Tensão. Revisão 1. 2012. 22 p.
- [39] CEMIG. **Comunicado Técnico nº 08 – 2013**: Critérios de Acesso em Média Tensão da Cemig Distribuição SA para Microgeração e Minigeração Distribuída Aderentes ao Regime de Compensação. 2013. 13 p.
- [40] CPFL ENERGIA. **15303**: Conexão de Micro e Minigeração Distribuída Sob Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Versão 1.0. 2012. 39 p.
- [41] ELETROBRÁS. **MPN-DC-01/N-001**: Conexão de Acessantes à Rede de Distribuição em Baixa Tensão – Microgeradores. 2013. 44 p.
- [42] ELETROBRÁS. **MPN-DC-01/N-002**: Conexão de Acessantes à Rede de Distribuição em Média Tensão – Minigeradores. 2013. 52 p.
- [43] ENERGISA. **Norma de Distribuição Unificada – NDU – 013**: Critérios para a Conexão de Acessantes de Geração Distribuída ao Sistema de Distribuição da Energisa – Conexão em Baixa Tensão. Versão 1.0. 2012. 39 p.
- [44] ENERGISA. **Norma de Distribuição Unificada – NDU – 015**: Critérios para a Conexão de Acessantes de Geração Distribuída ao Sistema de Distribuição da Energisa – Conexão em Média Tensão. Versão 1.0. 2012. 104 p.
- [45] IEEE Standard. **1547 - 2003**: IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems. 2003. 27 p.
- [46] ENERGY NETWORKS ASSOCIATION. **Engineering Recommendation G83**: Recommendations for the Connection of Type Tested Small-scale Embedded Generators (Up to 16A per Phase) in Parallel with Low-Voltage Distribution Systems. 2012. 53 p.
- [47] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Aviso de Consulta Pública nº 005/2014**. 2014.
- [48] NEXANS FICAP. **Alumínio**. Disponível em: < <http://www.nexans.com.br>.> Acessado em: 9 mai. 2013.
- [49] GUIMARÃES, Geraldo Caixeta. **Apostila de Dinâmica de Sistemas Elétricos II**. Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, 2009.

- [50] PEREZ, Larissa Marques. **Estudos do Desempenho Dinâmico de Geradores Síncronos de Produtores Independentes em Sistemas de Geração Distribuída via ATPDraw**. 2013. Dissertação (Mestre) – Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2013.
- [51] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST**. Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica. Revisão 4. 2012, 72 p.
- [52] AES SUL. **NTD 014.001**: Conexão de Minigeração e Microgeração Distribuída. 2012. 42 p.
- [53] AMPLA. **ETA – 020**: Conexão de Acessantes a Rede de Distribuição com Sistema de Compensação de Energia – Geração Distribuída. 2013. 55 p.
- [54] CEA. **NTD-08**: Norma Técnica de Distribuição para Conexão de Acessantes à Rede de Distribuição da CEA – Conexão em Baixa Tensão. 2013. 42 p.
- [55] CEA. **NTD-09**: Norma Técnica de Distribuição para Conexão de Acessantes à Rede de Distribuição da CEA – Conexão em Média Tensão. 2013. 44 p.
- [56] CEB. **NTD – 6.09**: Requisitos para a Conexão de Acessantes ao Sistema de Distribuição CEB-D Conexão em Baixa e Média Tensão. 2012. 30 p.
- [57] CEEE D. **NTD-00.081**: Acesso de Micro e Mini Geração com Fontes Renováveis e Cogeração Qualificada ao Sistema de Distribuição. 2013. 30 p.
- [58] CELSC DISTRIBUIÇÃO SA. **Requisitos para a Conexão de Micro ou Mini Geradores de Energia ao Sistema Elétrico da Celesc Distribuição**. 28 p.
- [59] CELG DISTRIBUIÇÃO. **NTC-71**: Requisitos para Conexão de Microgeradores e Minigeradores ao Sistema de Distribuição da CELG D. 2012. 49 p.
- [60] CELPA. **NTD-26**: Conexão de Microgeração Distribuída ao Sistema de Baixa Tensão. 2013. 34 p.
- [61] CELPA. **NTD-27**: Conexão de Minigeração Distribuída ao Sistema de Média Tensão. 2012. 34 p.
- [62] CELPE. **VM02.00-00.005**: Conexão de Microgeradores e Minigeradores ao Sistema de Distribuição de Média Tensão. 2013. 30 p.
- [63] CEMAR. **NT.16.020**: Conexão de Microgeração Distribuída ao Sistema de Baixa Tensão. 2012. 34 p.
- [64] CEMAR. **NT.16.021**: Conexão de Minigeração Distribuída ao Sistema de Média Tensão. 2012. 33 p.

- [65] CHESP. **NTD-05**: Requisitos para Conexão de Micro e Minigeradores ao Sistema de Distribuição da CHESP. 2013. 42 p.
- [66] COCEL. **Conexão de Micro e Mini Geração Distribuída**. 2012. 40 p.
- [67] COELBA. **SM04.14-01.011**: Conexão de Microgeradores ao Sistema de Distribuição em Baixa Tensão. 2013. 26 p.
- [68] COELBA. **SM04.08-01.009**: Conexão de Minigeração ao Sistema de Distribuição em Média Tensão. 2013. 23 p.
- [69] COELCE. **NT-010/2012 R-00**: Conexão de Micro e Minigeração Distribuída ao Sistema Elétrico da Coelce. 2012. 28 p.
- [70] COPEL. **NTC 905200**: Acesso de Micro e Minigeração Distribuída ao Sistema da COPEL. 2014. 67 p.
- [71] COSERN. **VR01.01-00.12**: Conexão de Microgeradores ao Sistema de Distribuição da Cosern. 2013. 26 p.
- [72] COSERN. **VR01.01-00.13**: Conexão de Minigeradores ao Sistema de Distribuição a Cosern. 2013. 21 p.
- [73] DMED. **NT 07 05 014**: Geração Própria. 2013. 49 p.
- [74] EDP. **PR.DT.PDN.03.14.002**: Conexão de Mini e Microgeradores ao Sistema de Distribuição em Baixa Tensão. 2014. 25 p.
- [75] EDP. **PR.DT.PDN.03.14.001**: Conexão de Mini e Microgeradores ao Sistema de Distribuição em Média Tensão. 2014. 27 p.
- [76] ELEKTRO. **ND.64**: Conexão entre Microgeração Distribuída em Baixa Tensão e a Rede de Distribuição da ELEKTRO. 2013. 40 p.
- [77] ELETROCAR. **Procedimentos para Conexão de Micro e Minigeração Distribuída ao Sistema Elétrico da Centrais Elétricas de Carazinho S/A – ELETROCAR**. 2013. 22 p.
- [78] FECOERUSC. **FECO-G-03**: Requisitos Conexão Mini Micro Geradores Sistema Distribuição Energia. 2013. 38 p.
- [79] IGUAÇU. **Norma Técnica para Conexão de Minigeração e Microgeração Distribuída de Energia, ao Sistema Elétrico da Iguaçu Energia**. 24 p.
- [80] LIGHT. **IT DTE/DTP-01/12**: Procedimentos para Conexão de Microgeração e Minigeração ao Sistema de Distribuição da Light SESA BT e MT – Até 34,5 kV. 2013. 41 p.
- [81] MUX ENERGIA. **PQM 09**: Procedimentos para Conexão de Micro e Minigeração Distribuída ao Sistema de Distribuição à Mux Energia. 2013. 26 p.

- [82] NOVA PALMA. **Microgeração e Minigeração Distribuída**. 2013. 13 p.
- [83] PANAMBI. **Conexão de Micro e Mini Geração Distribuída ao Sistema Elétrico**. 2013. 32 p.
- [84] SANTA MARIA. **Procedimentos para Conexão de Micro e Minigeração Distribuída ao Sistema Elétrico da Santa Maria**. 2012. 22 p.
- [85] SULGIPE. **NTD-33: Procedimentos para Conexão de Micro e Minigeração Distribuída**. 2013. 36 p.
- [86] EFLUL. **NTE 002: Requisitos para a Conexão de Micro ou Mini Geradores de Energia no Sistema Elétrico da EFLUL**. 2012. 17 p.

## **NORMAS TÉCNICAS DAS DISTRIBUIDORAS DE ENERGIA ELÉTRICA BRASILEIRAS**

### **A.1. Considerações Iniciais**

As normas técnicas das distribuidoras de energia elétrica brasileiras, não consideradas no capítulo 4, serão brevemente descritas a seguir. Ressalta-se que, o fornecimento das referidas normas pelas distribuidoras é uma exigência da resolução normativa nº 482/2012.

#### **A.1.1. AES Sul: AES Sul Distribuidora Gaúcha de Energia S/A**

A norma técnica referente ao acesso de microgeração e minigeração distribuída da AES Sul é a NTD 014.001: Conexão de Minigeração e Microgeração Distribuída. Nesta norma são apresentados os procedimentos para a conexão de acessantes em baixa tensão, abrangendo as etapas de solicitação de acesso, parecer de acesso, vistoria e liberação para a operação. Para os procedimentos de conexão de acessantes em média tensão são especificadas a consulta de acesso, informação, solicitação, parecer de acesso, vistoria e liberação para operação.

A norma técnica NTD 014.001 também exhibe os diagramas unifilares para a conexão de acessantes, os requisitos para medição, incluindo o padrão de entrada. O documento estabelece os requisitos para a proteção utilizando ou não inversores, sistema de controle e intertravamento, requisitos para a elaboração do projeto e a utilização de sinalização de segurança [52].

---

### A.1.2. Ampla: Ampla Energia e Serviços S/A

A distribuidora Ampla possui a norma técnica ETA – 020: Conexão de Acessantes a Rede de Distribuição com Sistema de Compensação de Energia – Geração Distribuída, a qual aborda os requisitos técnicos de conexão de microgeração e minigeração distribuída.

A presente norma expõe a necessidade da licença ambiental para alguns tipos de empreendimentos, aborda o sistema de compensação de energia elétrica, apresenta as etapas para a realização do acesso (solicitação de acesso, parecer de acesso, acordo operativo/relacionamento operacional, registro de usina/central geradora de mini e microgeradores distribuídos, obras de responsabilidade do acessante e da Ampla, instalações de conexão e vistoria), características do sistema em baixa e média tensão, ponto de conexão e conexão de geradores com ou sem inversores. As formas de conexão das unidades de geração distribuídas são definidas de acordo com a potência instalada da mesma, sendo estabelecido os critérios apresentados na Tabela A.1.

Tabela A.1 – Forma de Conexão à Distribuidora Ampla

<i>Potência Instalada</i>	<i>Forma de Conexão</i>
< 8 kW	Baixa tensão monofásica até 8 kVA
8 kW a 10 kW	Baixa tensão bifásica até 10 kVA
< 15 kW (padrão rural)	Baixa tensão bifásica até 15 kVA
> 10 kW a 75 kW	Baixa tensão trifásica até 75 kVA
> 75 kW	Média tensão trifásica

Fonte: Extraído de [53]

O documento também aborda as diretrizes do sistema de medição, dispositivo de seccionamento visível, proteção para conexão e seus ajustes, requisitos da qualidade da energia elétrica (tensão em regime permanente, faixa operacional de frequência, geração distribuída com ou sem inversores, proteção de injeção de componente de corrente contínua na rede elétrica, harmônicos e distorções na forma de onda e fator de potência).

Os requisitos de segurança relatados na norma são: perda de tensão da rede, variações de tensão e frequência, proteção contra ilhamento (a geração distribuída deve parar de fornecer energia ao sistema elétrico em 2 segundos se ocorrer o ilhamento), reconexão (a geração distribuída deve aguardar 180 segundos após o restabelecimento das condições nominais de tensão e frequência do sistema elétrico para fornecer energia ao mesmo), aterramento, proteção contra curto-circuito, seccionamento, religamento automático da rede (a geração distribuída tem que suportar religamento automático em oposição de fase) e sinalização de segurança.

A norma técnica ETA – 020 apresenta os seguintes anexos: modelo de solicitação de acesso, modelo de parecer de acesso, modelo de acordo operativo, modelo de relacionamento operacional, formulário de registro de usina termelétrica, fotovoltaica, usina eólica e central geradora hidrelétrica, relatório de vistoria para aprovação do ponto de conexão, formulário de registro de mini e micro geradores distribuídos, figuras de padrão de baixa e média tensão com medidor bidirecional e materiais de uso no padrão de geração distribuída [53].

### A.1.3. CEA: Companhia de Eletricidade do Amapá

A Companhia de Eletricidade do Amapá possui duas normas técnicas para a conexão de geração distribuída ao seu sistema elétrico. As normas são a NTD-08: Norma Técnica de Distribuição para Conexão de Acessantes à Rede de Distribuição da CEA – Conexão em Baixa Tensão e a NTD-09: Norma Técnica de Distribuição para Conexão de Acessantes à Rede de Distribuição da CEA – Conexão em Média Tensão.

As normas apresentam praticamente todo seu conteúdo semelhante, se diferenciando na forma de contrato, sendo estabelecido o relacionamento operacional para microgeração distribuída e acordo operativo para minigeração distribuída, e também possuem diferente a forma de conexão ao sistema elétrico, a qual depende da potência instalada e pode ser observado na Tabela A.2.

Tabela A.2 - Forma de Conexão à Distribuidora CEA

<i>Tensão do Sistema</i>	<i>Tipo de Conexão</i>	<i>Potência da Microgeração</i>
220 V <sub>FF</sub> /127 V <sub>FN</sub> e 230 V <sub>FF</sub> /115 V <sub>FN</sub>	Monofásico	≤ 7,5 kW
	Bifásico	> 7,5 a 15 kW
	Trifásico	≥ 15 a 75 kW
230 V <sub>FF</sub> /115 V <sub>FN</sub> a 2 e 3 fios	Monofásico	≤ 7,5 kW
	Bifásico	> 7,5 a 37,5 kW
<i>Tensão do Sistema</i>	<i>Tipo de Conexão</i>	<i>Potência da Minigeração</i>
13,8 kV ou 34,5 kV	Trifásico	> 75 e < 300 kW
13,8 kV ou 34,5 kV	Trifásico	≥ 300 e ≤ 1000 kW

Fonte: Adaptado de [54] e [55]

Ambas as normas descrevem os procedimentos de acesso (solicitação de acesso, parecer de acesso, contrato, obras, solicitação de vistoria e aprovação do ponto de conexão), critérios técnicos (características do sistema de distribuição, forma de conexão, conexão de geradores com ou sem inversores, sistema de medição, dispositivo de seccionamento visível, padrão de entrada e proteção da conexão).



A qualidade da energia é mencionada também em ambas as normas, os itens descritos são: tensão em regime permanente, faixa operacional de frequência, geração com ou sem inversores, proteção de injeção de componente de corrente contínua na rede elétrica, harmônicos e distorções da forma de onda e fator de potência. A segurança da conexão é descrita pelos parâmetros: variações de tensão e frequência, perda de tensão da rede e proteção contra ilhamento, reconexão, aterramento, proteção contra curto-circuito, seccionamento, religamento automático da rede e sinalização de segurança.

A norma técnica NTD-08 relata em anexo informações para solicitação de acesso de microgeração, modelo de relacionamento operacional para microgeração distribuída com adesão ao sistema de compensação de energia elétrica, formulário de solicitação de vistoria de microgeração, formulário ANEEL para registro, formulário de registro da central geradora e especificação do medidor bidirecional [54]. Em anexo na norma NTD-09 é exposto também o formulário da ANEEL para registro, formulário de registro de central geradora, formulário de solicitação de acesso de minigeração, parecer de acesso de minigeração, modelo do acordo operativo para a minigeração distribuída com adesão ao sistema de compensação de energia elétrica, solicitação de comissionamento, vistoria de minigeração e informações para medição direta e indireta [55].

#### A.1.4. CEB: Companhia Energética de Brasília

A distribuidora CEB disponibiliza para seus consumidores a norma técnica NTD – 6.09: Requisitos para a Conexão de Acessantes ao Sistema de Distribuição CEB-D Conexão em Baixa e Média Tensão. Para realizar a conexão dos acessantes ao sistema elétrico da distribuidora, a norma apresenta as seguintes informações: procedimentos de acesso, solicitação de acesso, parecer de acesso, relacionamento operacional, acordo operativo, obras de responsabilidade do acessante e da CEB-D, obras referentes ao ponto de conexão e suas instalações e solicitação de vistoria. As formas de conexão das instalações de geração distribuídas são apresentadas nesta norma, sendo disponíveis na Tabela A.3.

Tabela A.3 – Forma de Conexão à Distribuidora CEB

<i>Potência Instalada</i>	<i>Forma de Conexão</i>
< 10 kW	Monofásico, bifásico ou trifásico
10 a 15 kW	Bifásico ou trifásico
> 15 kW (rede trifásica)	Trifásico
< 30 kW (rede rural com transformador exclusivo)	Monofásico

Fonte: Extraído de [56]

A norma NTD – 6.09 também expõe os critérios e padrões técnicos que os acessantes devem seguir, como: características do sistema em baixa tensão, conexão de geradores com ou sem inversores, sistema de medição, dispositivo de seccionamento visível, padrão de entrada, requisitos de proteção para a conexão, qualidade da energia (tensão em regime permanente, faixa operacional de frequência, geradores com ou sem inversores, proteção de injeção de componente de corrente contínua na rede elétrica, fator de potência, harmônicos e distorções na forma de onda) e requisitos de segurança (perda de tensão da rede, variações de tensão e frequência, proteção contra ilhamento, reconexão, aterramento, proteção contra curto-circuito, seccionamento, religamento automático da rede e sinalização de segurança) [56].

### A.1.5. CEEE-D: Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica

A distribuidora CEEE-D disponibiliza aos acessantes para a conexão em seu sistema elétrico a norma NTD-00.081: Acesso de Micro e Mini Geração com Fontes Renováveis e Cogeração Qualificada ao Sistema de Distribuição. As etapas necessárias para realizar a conexão abordadas pela norma são: consulta de acesso, solicitação de acesso, parecer de acesso, contratos, implantação da conexão e aprovação do ponto de conexão. Esta distribuidora também apresenta as formas de conexão da geração distribuída conforme a potência instalada, esses dados são apresentados na Tabela A.4.

Tabela A.4 – Forma de Conexão à Distribuidora CEEE-D

<i>Tipo de Ligação</i>	<i>Tensão Secundária</i>	<i>Capacidade Instalada</i>
Monofásico	127 V	Até 10 kVA
	220 V	Até 10 kVA
Bifásico	127/220 V	Até 15 kVA
	220/380 V	Até 25 kVA
Trifásico	127/220 V	Até 75 kVA
	220/380 V	

Fonte: Extraído de [57]

A norma NTD-00.081 relata as condições específicas que os empreendimentos dos acessantes necessitam ter, como: condições para a conexão de módulos geradores em baixa e média tensão, padrão de entrada de energia, dispositivos de seccionamento, sinalização de proteção, registro de eventos, registro de oscilográfico digital, requisitos de qualidade de energia e especificações de segurança também conforme normas anteriores.

A norma apresenta em anexo os modelos para viabilização de acesso, acesso em baixa e em média tensão, diagramas unifilares de conexão em baixa tensão, modelo de caixa de

entrada de distribuição, padrão de entrada de energia em baixa tensão, modelo de placa de advertência, requisitos de proteção para geradores em baixa tensão, diagrama unifilar de conexão em média tensão e requisitos de proteção para geradores em média tensão [57].

### A.1.6. CELESC-D: Centrais Elétricas de Santa Catarina S/A

A distribuidora CELESC-D possui a norma Requisitos para a Conexão de Micro ou Mini Geradores de Energia ao Sistema Elétrico da Celesc Distribuição. Nesta norma são apresentados os seguintes requisitos para a viabilização de acesso ao sistema de distribuição: solicitação de acesso, parecer técnico de acesso, implantação da conexão e aprovação do ponto de conexão. A CELESC-D também define a forma de conexão e o número de fases da mesma de acordo com a potência instalada do empreendimento, assim, a forma de conexão desta distribuidora é apresentada na Tabela A.5.

Tabela A.5 – Forma de Conexão à Distribuidora CELESC-D

<i>Potência Instalada</i>	<i>Nível de Tensão da Conexão</i>
Até 15 kW	Baixa tensão (monofásico, bifásico ou trifásico)
Acima de 15 kW até 25 kW	Baixa tensão (bifásico ou trifásico)
Acima de 25 kW até 75 kW	Baixa tensão (trifásico)
Acima de 75 kW até 1000 kW	Média tensão

Fonte: Extraído de [58]

A norma também apresenta os requisitos mínimos que a proteção deve conter, os parâmetros de qualidade da energia elétrica (distorção harmônica e tempo máximo de desligamento em relação ao nível da tensão no ponto de conexão) e especificação do sistema de medição. Em anexo próprio é apresentado um modelo de requerimento para solicitação de acesso, requerimento para solicitação de vistoria, instruções para adequações no padrão de entrada, modelo de placa de advertência, diagrama esquemático do padrão de entrada e diagramas de orientação para a conexão [58].

### A.1.7. CELG D: Companhia Energética de Goiás

A Companhia Energética de Goiás apresenta a norma técnica NTC-71: Requisitos para Conexão de Microgeradores e Minigeradores ao Sistema de Distribuição da CELG D. Nesta norma são estabelecidas as condições para acesso ao sistema de distribuição, etapas para a viabilização do acesso (consulta de acesso, informação de acesso, solicitação de acesso e

parecer de acesso), requisitos para o relacionamento operacional, acordo operativo, realização de obras de responsabilidade do acessante e da CELG D.

A norma também expõe as condições específicas que os acessantes devem seguir, como informações referentes ao ponto de conexão, potência instalada, formas de minimizar/eliminar as perturbações e condições não permitidas. As formas de conexão são estabelecidas de acordo com a capacidade de potência e os parâmetros adotados por essa distribuidora são apresentados na Tabela A.6.

Tabela A.6 – Forma de Conexão à Distribuidora CELG D

<i>Potência Instalada</i>	<i>Nível de Tensão de Conexão</i>
< 75 kW	Baixa tensão (monofásico, bifásico ou trifásico)
75 kW a 1 MW	Média tensão

Fonte: Extraído de [59]

A norma NTC-71 detalha as características do sistema de distribuição, forma de conexão com ou sem inversores, sistema de medição, padrão de entrada, dispositivo de seccionamento visível, requisitos de proteção para a conexão, requisitos de qualidade e requisitos de segurança conforme normas anteriores.

A normas da CELG D também apresentam em anexo próprio as etapas a serem cumpridas nos procedimento de acesso, tensão de conexão, requisitos mínimos em função da potência instalada, ajustes sugeridos das proteções, respostas às condições anormais de tensão, limite de distorção harmônica de corrente, modelo de documento de relacionamento operacional para a microgeração distribuída, formulário de informações básicas de microgeração e minigeração com usina fotovoltaica, usina eólica, usina hidráulica e usina térmica [59].

### **A.1.8. CELPA: Centrais Elétricas do Pará S/A**

A distribuidora Centrais Elétricas do Pará disponibiliza aos seus acessantes duas normas técnicas, uma destinada a sistemas elétricos em baixa tensão e a outra a média tensão, as quais são a NTD-26: Conexão de Microgeração Distribuída ao Sistema de Baixa Tensão e NTD-27: Conexão de Minigeração Distribuída ao Sistema de Média Tensão.

Ambas as normas apresentam conteúdo muito semelhante. Estas diferem na forma de contrato estabelecida com o acessante, sendo para microgeradores realizado o relacionamento operacional e para minigeradores o acordo operativo. Também são diferentes na forma de conexão, os microgeradores são conectados segundo a Tabela A.7 e os minigeradores com

demanda contratada da unidade consumidora igual ou inferior a 2,5 MW devem ter a potência instalada igual ou menor a 1 MW [61].

Tabela A.7 – Forma de Conexão de Microgeração à Distribuidora CELPA

<i>Carga Instalada da Unidade Consumidora</i>	<i>Potência Instalada da Microgeração</i>	<i>Forma de Conexão</i>
$\leq 12$ kW	$\leq 12$ kW	Monofásico ou Trifásico
12 a 75 kW	12 a 75 kW	Trifásico

Fonte: Extraído de [60]

A forma de viabilização do acesso ao sistema de distribuição ocorre de forma igual para consumidores em baixa e média tensão, sendo necessárias as etapas de solicitação de acesso, parecer de acesso, contratos, obras e solicitação de vistoria. Os critérios técnicos divulgados pelas normas são: características do sistema de distribuição, forma de conexão, conexão de geradores com ou sem inversores, sistema de medição, medidor bidirecional, dispositivo de seccionamento visível, padrão de entrada e proteção.

Os requisitos de qualidade e segurança são definidos conforme as normas técnicas apresentadas anteriormente. A norma técnica NDT-26 divulga em anexo os formulários de informações básicas para conexão de microgeração distribuída para usina fotovoltaica, usina eólica, usina hidráulica e usina térmica [60]. A norma técnica NDT-27 apresenta os mesmos formulários que a norma NDT-26, porém para minigeração distribuída [61].

### **A.1.9. CELPE: Companhia Energética de Pernambuco**

A distribuidora Companhia Energética de Pernambuco possui a norma técnica VM02.00-00.005: Conexão de Microgeradores e Minigeradores ao Sistema de Distribuição de Média Tensão. O acessante pode obter as informações necessárias para a realização da conexão por meio do endereço eletrônico da CELPE, nas agências e postos de atendimento da distribuidora. Os procedimentos para a realização do acesso são a solicitação de acesso, o parecer de acesso emitido em até 60 dias, a celebração do acordo operativo ou relacionamento operacional em 90 dias, vistoria feita no máximo em 30 dias, emissão do relatório da vistoria em 15 dias e a aprovação do ponto de conexão em 7 dias.

Na norma VM02.00-00.005 é abordado os critérios e padrões técnicos que os acessantes devem seguir, como: forma de conexão, conexão de geradores com ou sem inversores, sistema de medição, medidor, dispositivo de seccionamento visível, padrão de entrada, requisitos de

proteção para a conexão, requisitos de qualidade da energia elétrica e requisitos de segurança, os quais são relatados semelhantes as normas técnicas apresentadas anteriormente.

A norma técnica da CELPE apresenta em anexo as seguintes informações: modelo do documento de relacionamento operacional para conexão de microgeração distribuída ao sistema de compensação de energia celebrado entre CELPE e acessante, modelo do documento de acordo operativo para conexão de minigeração distribuída ao sistema de compensação de energia celebrado entre CELPE e acessante, formulário de informações básicas para conexão de microgeração/minigeração ao sistema de distribuição de média tensão com usina fotovoltaica, usina eólica, usina hidráulica, usina térmica e relatório de vistoria de geração distribuída [62].

#### **A.1.10. CEMAR: Companhia Energética do Maranhão**

A distribuidora CEMAR possui duas normas técnicas referentes a geração distribuída, uma para sistema em baixa tensão e outra para sistema em média tensão. As normas técnicas referidas são a NT.16.020: Conexão de Microgeração Distribuída ao Sistema de Baixa Tensão e NT.16.021: Conexão de Minigeração Distribuída ao Sistema de Média Tensão.

Ambas as normas técnicas apresentam definições e conteúdos semelhantes, diferenciando no tipo de contrato, sendo realizado o relacionamento operacional para os microgeradores distribuídos e acordo operativo para os minigeradores distribuídos e, também, possuem forma de conexão distintas dependendo do valor da potência instalada. Para os microgeradores com carga instalada da unidade consumidora igual ou menor a 12 kW com potência da geração igual ou inferior a 12 kW a conexão pode ser monofásica ou trifásica e para potência maiores deve ser trifásica. Para minigeradores a potência instalada é definida de acordo com a demanda contratada [63] e [64].

As normas técnicas exibem as etapas para viabilização do acesso (solicitação de acesso, parecer de acesso, contratos, obras e solicitação de vistoria), critérios técnicos para a conexão (características do sistema elétrico, forma de conexão, conexão de geradores com ou sem inversores, sistema de medição, medidor, dispositivo de seccionamento visível, padrão de entrada e proteção), parâmetros de qualidade e requisitos de segurança conforme normas técnicas apresentadas anteriormente.

A norma técnica referente a sistema em baixa tensão demonstra em anexo os modelos de formulários com informações básicas de microgeração para usina fotovoltaica, usina eólica,

usina hidráulica e usina térmica [63]. A norma técnica para sistema em média tensão divulga em anexo os mesmos formulários que a norma anterior, porém para minigeração [64].

### A.1.11. CHESP: Companhia Hidroelétrica São Patrício

A Companhia Hidroelétrica São Patrício apresenta a norma técnica NTD-05: Requisitos para Conexão de Micro e Minigeradores ao Sistema de Distribuição da CHESP. Esta norma estabelece os critérios para o acesso ao sistema de distribuição, os quais são: consulta e informação de acesso, solicitação de acesso, parecer de acesso, relacionamento operacional, acordo operativo, obras e solicitação de comissionamento.

A norma esclarece as condições para a conexão, como parâmetros do ponto de conexão, tensão de conexão, potência instalada, perturbações e condições não permitidas de serem realizadas. Para as conexões em baixa e média tensão a norma descreve as características do sistema elétrico, o sistema de medição, características do padrão de entrada, dispositivo de seccionamento visível e requisitos mínimos de proteção. A forma de conexão é apresentada nesta norma técnica e pode ser vista na Tabela A.8 a seguir.

Tabela A.8 – Forma de Conexão à Distribuidora CHESP

<i>Potência Instalada</i>	<i>Nível de Tensão de Conexão</i>
< 75 kW	Baixa tensão (monofásico, bifásico ou trifásico)
75 kW a 1 MW	Média tensão

Fonte: Extraído de [65]

Os requisitos de qualidade e segurança são abordados nesta norma de forma semelhante as normas técnicas anteriores. Em anexo próprio são ilustradas as etapas do processo de acesso, valores de tensão de conexão, proteção mínima em função da potência instalada, respostas às condições anormais de tensão, limite de distorção harmônica de corrente, modelo de relacionamento operacional para microgeração distribuída com adesão ao sistema de compensação de energia, formulário com informações para microgeração e minigeração com usina fotovoltaica, usina eólica, usina hidráulica, usina térmica e usina fotovoltaica [65].

### A.1.12. COCEL: Companhia Campolarguense de Energia

A COCEL disponibiliza aos seus acessantes a norma técnica Conexão de Micro e Mini Geração Distribuída. Nesta norma é exposto inicialmente as características técnicas do sistema elétrico da COCEL e a forma de conexão ao sistema, o qual é ilustrado na Tabela A.9 a seguir.

Tabela A.9 – Forma de Conexão à Distribuidora COCEL

<i>Potência Instalada</i>	<i>Forma de Conexão</i>
< 10 kW	Baixa tensão (monofásico, bifásico ou trifásico)
De 10 a 75 kW	Baixa tensão (trifásico)
De 76 a 1000 kW	Média tensão (trifásico)

Fonte: Adaptado de [66]

A norma apresenta as etapas para a viabilização do acesso recomendada pelas normas brasileiras vigentes, as quais são a solicitação de acesso, parecer de acesso, procedimentos para conexão, relacionamento operacional, acordo operativo, vistoria e aprovação do ponto de conexão. Em seguida, é apresentado os requisitos de segurança conforme as normas anteriores.

A norma técnica da COCEL divulga em anexo um modelo de relacionamento operacional para microgeração distribuída com adesão ao sistema de compensação de energia elétrica, modelo de acordo operativo com adesão ao sistema de compensação de energia – minigeração distribuída e termo de responsabilidade [66].

### A.1.13. COELBA: Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia

A distribuidora COELBA apresenta uma norma técnica referente à microgeração distribuída e outra à minigeração distribuída, as quais são, respectivamente, SM04.14-01.011: Conexão de Microgeradores ao Sistema de Distribuição em Baixa Tensão e SM04.08-01.009: Conexão de Minigeração ao Sistema de Distribuição em Média Tensão.

As normas técnicas da COELBA apresentam conteúdo muito parecidos. A principal diferença são os níveis de potência e suas formas de conexão. Para os geradores em baixa tensão a forma de conexão pode ser monofásica, bifásica e trifásica, conforme apresentado na Tabela A.10, e para os geradores em média tensão a forma de conexão depende da demanda contratada.

Tabela A.10 – Forma de Conexão à Distribuidora COELBA

<i>Potência Instalada</i>	<i>Nível de Tensão</i>	<i>Forma de Conexão</i>
< 10 kW	220/127 V	Monofásico, bifásico ou trifásico
10 a 20 kW	220/127 V	Bifásico ou trifásico
> 20 kW	220/127 V	Trifásico
< 15 kW	380/220 V	Monofásico, bifásico ou trifásico
10 a 25 kW	380/220 V	Bifásico ou trifásico
> 25 kW	380/220 V	Trifásico

Fonte: Adaptado de [67]



Para a conexão ao sistema elétrico em baixa ou média tensão a COELBA especifica as seguintes etapas: solicitação de acesso, parecer de acesso, relacionamento operacional, realização de obras se necessário, vistoria, relatório de vistoria e aprovação do ponto de conexão. As características que os acessantes devem seguir referente a suas instalações são: forma de conexão, conexão de geradores com ou sem inversores, sistema de medição, dispositivo de seccionamento visível, padrão de entrada, requisitos de proteção para a conexão, requisitos de qualidade da energia e requisitos de segurança, os quais são idênticos às normas técnicas anteriores.

A norma SM04.14-01.011 apresenta em anexo formulários para as informações de microgeração com usina hidráulica, usina fotovoltaica, usina eólica, usina térmica e modelo de formulário de relacionamento operacional para microgeração distribuída e adesão ao sistema de compensação de energia elétrica [67]. A norma SM04.08-01.009 também apresenta em anexo formulários para as informações dos diversos tipos de usina, porém para minigeração distribuída e, além disso, apresenta formulário de registro de minigeradores distribuídos participantes do sistema de compensação de energia elétrica e modelo de registro das unidades participantes do sistema de compensação de energia elétrica [68].

#### A.1.14. COELCE: Companhia Energética do Ceará

A distribuidora COELCE possui a norma técnica NT-010/2012 R-00: Conexão de Micro e Minigeração Distribuída ao Sistema Elétrico da Coelce. Esta norma expõe as características do sistema elétrico da COELCE, aborda as etapas para a concretização da conexão (solicitação de acesso, parecer de acesso, relacionamento operacional e acordo operativo, vistoria e aprovação do ponto de conexão) e apresenta os requisitos mínimos necessários que o projeto deve conter. A presente norma relata a forma de conexão dependendo da potência instalada, a qual pode ser visualizada na Tabela A.11 a seguir.

Tabela A.11 – Forma de Conexão à Distribuidora COELCE

<i>Carga Instalada</i>	<i>Tensão Nominal</i>	<i>Sistema Elétrico</i>
$\leq 10 \text{ kW}$	220 V	Baixa tensão (monofásico)
$> 10 \text{ kW e } \leq 75 \text{ kW}$	380 V	Baixa tensão (trifásico)
$> 75 \text{ kW e } \leq 1 \text{ MW}$	13800 V	Média tensão

Fonte: Extraído de [69]

A norma técnica da COELCE também relata as diretrizes necessárias para o padrão de entrada, medição, proteção, ajustes de proteção (tensão, frequência, injeção de componente de

corrente contínua na rede elétrica, harmônicos, fator de potência, ilhamento, reconexão, chave seccionadora e religamento automático da rede), orientações de sinalização conforme normas anteriores, equipamentos, obras (autorização da obra, prazos e participação financeira), desativação compulsória e compensação de energia elétrica. A norma apresenta em anexo um modelo de requerimento de solicitação de acesso, formulário de registro de usina e formulário de registro de central geradora [69].

#### **A.1.15. COPEL: Companhia Paranaense de Energia**

A Companhia Paranaense de Energia possui a norma técnica NTC 905200: Acesso de Micro e Minigeração Distribuída ao Sistema da COPEL. Para a realização da conexão do acessante com microgeração e minigeração distribuída a norma exhibe os procedimentos para a solicitação de acesso e descreve todas as etapas necessárias para a concretização da conexão, como parecer de acesso, realização de obras, vistoria, liberação para a operação e liberação de inversores.

Na norma também há descrição dos contratos exigidos para conexão dos acessantes, requisitos técnicos para a conexão ao sistema de distribuição, definição do tipo de conexão dependendo da potência instalada, especificação da proteção mínima para conexão de geradores, proteção, qualidade da energia, parâmetros para projeto, especificação para conexão em alta tensão, sistema de medição (características técnicas, equipamentos e responsabilidades) e arranjos das conexões. A norma técnica NTC 905200 apresenta em anexo o modelo de formulário para a solicitação de acesso de micro e minigeração distribuída [70].

#### **A.1.16. COSERN: Companhia Energética do Rio Grande do Norte**

A distribuidora COSERN possui disponível à população duas normas técnicas, uma referente a microgeração e outra a minigeração distribuída, as quais são, respectivamente, VR01.01-00.12: Conexão de Microgeradores ao Sistema de Distribuição da Cosern e VR01.01-00.13: Conexão de Minigeradores ao Sistema de Distribuição da Cosern. As normas apresentam requisitos técnicos semelhantes, se diferenciando na forma de contrato, na potência instalada permitida, no nível de tensão e na forma de conexão. Para microgeração é estabelecido a seguinte conexão: baixa tensão (monofásico ou trifásico) para potência menor ou igual a 15 kW; baixa tensão (trifásico) para potência maior que 15 kW e menor ou igual a 75 kW; média tensão para potência superior a 75 kW [71]. Aos minigeradores é permitido apenas conexão em média tensão [72].

As duas normas técnicas relatam as formas de contato com a distribuidora e descrevem os procedimentos necessários para efetivar a conexão, como solicitação de acesso, parecer de acesso, relacionamento operacional, acordo operativo, obras de responsabilidade do acessante e da COSERN, liberação do ponto de conexão e instalações de conexão. Ambas as normas esclarecem os requisitos necessários para a conexão, como: limites de potência, formas de conexão, sistema de medição, inversor, dispositivo de seccionamento visível, padrão de entrada, proteção mínima da conexão, qualidade da energia e segurança (tensão em regime permanente, faixa operacional de frequência, proteção de injeção de componente de corrente contínua na rede elétrica, harmônicos e distorções da forma de onda, fator de potência, perda de tensão da rede, proteção contra ilhamento, reconexão, aterramento, seccionamento, religamento automático da rede e sinalização de segurança).

As normas também se diferem nas informações apresentadas em anexo. Na norma VR01.01-00.12 é ilustrado um modelo para relacionamento operacional para a microgeração distribuída com adesão ao sistema de compensação de energia, formulário de informações básicas de microgeração com usina eólica, usina fotovoltaica, usina hidráulica, usina térmica, diagramas unifilares do padrão de entrada e diagramas de conexão de microgeradores [71]. Na norma VR01.01-00.13 é mostrado em anexo formulários de informações básicas e diagramas de conexão de minigeradores [72].

### **A.1.17. DMED: DME Distribuição S/A**

A distribuidora DMED possui a norma técnica NT 07 05 014: Geração Própria, a qual aborda informações técnicas para a conexão de geração própria, operação isolada em emergência ou alimentação de eventos temporários (shows, feiras, circos, parques de diversão, exposições, obras ou outros), geração própria com paralelismo momentâneo, geração própria com paralelismo permanente sem exportação e geração própria com paralelismo permanente com exportação – microgeração e minigeração.

A norma da distribuidora DMED descreve: as formas de conexão dos empreendimentos de acordo com a sua potência instalada, os parâmetros mínimos para o sistema de proteção com as funções e número dos relés necessários, requisitos a serem seguidos na operação (nível de tensão, faixa de frequência, faixa de fator de potência e distorção harmônica), fluxo de potência ativa e reativa, estabelecimento de comunicação entre a distribuidora e o acessante, medição, aspectos operativos e de segurança [73].

A norma técnica também aborda: etapas para o acesso ao sistema elétrico (solicitação de acesso, parecer de acesso e prazos), requisitos necessários nos projetos (carta de apresentação, memorial descritivo, planta de situação, projeto de entrada de serviço, diagramas unifilares, tabela de distribuição de carga e diagramas funcionais), inspeções, entrada em operação, compensação de energia elétrica e diagramas unifilares com as funções de proteção.

As informações básicas para solicitação de acesso para geração própria e modelo do termo de responsabilidade de utilização de geração própria se encontram em anexo na norma NT 07 05 014 [73].

### **A.1.18. EDP Energia do Brasil S/A**

A EDP Energias do Brasil possui duas distribuidoras de energia elétrica, as quais são:

- EDP Bandeirantes: Bandeirante Energia S/A
- EDP Escelsa: Espírito Santo Centrais Elétricas S/A

As duas distribuidoras da EDP seguem as mesmas normas técnicas, sendo uma norma referente a conexão em baixa tensão e outra em média tensão. As normas técnicas mencionadas são a PR.DT.PDN.03.14.002: Conexão de Mini e Microgeradores ao Sistema de Distribuição em Baixa Tensão e PR.DT.PDN.03.14.001: Conexão de Mini e Microgeradores ao Sistema de Distribuição em Média Tensão.

A norma técnica referente ao sistema de distribuição em baixa tensão divulga e define as etapas para a realização da conexão (princípios básicos exigidos, procedimentos de acesso, consulta de acesso, informação de acesso, solicitação de acesso, parecer de acesso, relacionamento operacional, adequações, responsabilidades da distribuidora e acessante), requisitos técnicos (ponto de conexão e padrão de entrada), sistema de medição adequado, conexão ao sistema de medição, proteção para a conexão com e sem inversor [74].

A norma PR.DT.PDN.03.14.002 também expõe os requisitos de qualidade para a conexão (faixa operacional de tensão, cintilação, proteção de injeção de componente de corrente contínua na rede elétrica, faixa operacional de frequência, harmônicos e distorções da forma de onda, fator de potência e injeção de potência reativa), requisitos de segurança para a conexão à rede elétrica (perda da tensão da rede, variações de tensão e frequência, proteção contra ilhamento, reconexão, aterramento, proteção contra curto-circuito, religamento automático da rede, isolamento e seccionamento), advertência de segurança e vistoria.

Na norma para sistema em baixa tensão é indicado em anexo as tabelas com os valores de tensão nominal, proteção, distorção harmônica, respostas às condições anormais de tensão,

resumo das etapas de acesso, diagramas, formulário de informações gerais do acessante e formulário de informações técnicas do acessante [74].

A norma para sistema de distribuição em média tensão exhibe as definições para a realização da conexão, critérios operacionais (conexão ao sistema de distribuição, tensão de conexão, fator de potência, sistema de proteção, forma de onda e amplitude da tensão), requisitos de projetos, implantação de novas conexões, requisitos para operação, manutenção, segurança, sistema de medição, acordo operativo. Nessa norma é indicado os requisitos para projetos (projeto elétrico, informações para análise prévia, documentos para análise e liberação do projeto, condições básicas do projeto e instalações), proteção mínima exigida e qualidade do fornecimento (operação em paralelismo e inspeções) [75].

Na norma PR.DT.PDN.03.14.001 é anexada tabelas com os requisitos mínimos em função da potência instalada, resumo das etapas de acesso, característica consideradas para conexão de micro e minicentrais geradoras, desenhos, formulário com informações gerais e específicas do acessante, e formulário com informações sobre as máquinas síncronas [75].

### A.1.19. ELEKTRO: Elektro Eletricidade e Serviços S/A

A distribuidora ELEKTRO disponibiliza em seu portal eletrônico a norma técnica ND.64: Conexão entre Microgeração Distribuída em Baixa Tensão e a Rede de Distribuição da ELEKTRO. A ELEKTRO não possui norma técnica específica para conexão de minigeração distribuída no sistema elétrico de média tensão. A norma técnica ND.64 apresenta a forma de conexão estabelecida dependendo da potência instalada, a qual pode ser observada na Tabela A.12 a seguir.

Tabela A.12 – Forma de Conexão à Distribuidora ELEKTRO

<i>Potência Instalada</i>	<i>Nível de Tensão</i>
< 10 kW	Baixa tensão (monofásico, bifásico ou trifásico)
10 a 25 kW	Baixa tensão (bifásico ou trifásico)
25 a 75 kW	Baixa tensão (trifásico)
75 kW a 100 kW	Baixa tensão (trifásico) em transformador particular

Fonte: Extraído de [76]

A norma técnica ND.64 também esclarece as condições gerais para a obtenção do acesso ao sistema de distribuição, como regulamentação, condições não permitidas de ligação, suspensão de fornecimento, responsabilidade, atribuições profissionais e ponto de entrega. Nesta norma também são expressadas as orientações específicas para o acesso, como conexão, padrão de entrada, proteção, projeto elétrico, consulta de acesso, solicitação de acesso e parecer

de acesso. Os projetos, segundo a norma ND.64, devem ser desenvolvidos contendo a carta de apresentação, memorial descritivo, desenhos, proteção geral (dispositivos de sincronização, proteção contra subtensão ou falta de fase, proteção contra sobretensão, relé de sobrefrequência e relé de subfrequência), anotação de responsabilidade técnica e equipamentos (inversores, equipamentos de medição, disjuntor de sincronismo e dispositivo de seccionamento visível).

A norma técnica da distribuidora ELEKTRO expressa os requisitos de qualidade conforme as normas anteriores, requisitos de segurança e sinalização de segurança. Em anexo, a presente norma ilustra tabelas com os valores de nível de tensão de conexão da geração, requisitos de proteção, ajustes da proteção, respostas às condições anormais de tensão, limite de distorção harmônica de corrente e diagramas unifilares [76].

### **A.1.20. ELETROCAR: Centrais Elétricas de Carazinho S/A**

A ELETROCAR disponibiliza a norma Procedimentos para Conexão de Micro e Minigeração Distribuída ao Sistema Elétrico da Centrais Elétricas de Carazinho S/A – ELETROCAR. Esta norma aborda os critérios técnicos do sistema de distribuição, etapas para a viabilização do acesso, como solicitação de acesso, parecer de acesso, procedimentos para a conexão, relacionamento operacional, acordo operativo, sistema de medição, vistoria e aprovação do ponto de conexão. A norma também exhibe as formas de conexão, as quais podem ser verificadas na Tabela A.13.

Tabela A.13 – Forma de Conexão à Distribuidora ELETROCAR

<i>Potência Instalada</i>	<i>Forma de Conexão</i>
< 10 kW	Baixa tensão (monofásico, bifásico ou trifásico)
De 10 a 75 kW	Baixa tensão (trifásico)
De 76 a 1000 kW	Média tensão (trifásico)

Fonte: Adaptado de [77]

Na referida norma técnica também é exposto os requisitos necessários que devem constar no projeto e orientações de segurança. São divulgados em anexo o modelo para relacionamento operacional para a microgeração distribuída com adesão ao sistema de compensação de energia e modelo do termo de responsabilidade [77].

### A.1.21. FECOERUSC: Federação das Cooperativas de Energia do Estado de Santa Catarina

A FECOERUSC possui duas distribuidoras de energia elétrica que dispõem da mesma norma técnica referente a microgeração e minigeração distribuída. As distribuidoras que compõem a FECOERUSC são:

- Aliança: Cooperativa Aliança
- João Cesa: Empresa Força e Luz João Cesa Ltda.

A FECOERUSC disponibiliza a norma FECO-G-03: Requisitos Conexão Mini Micro Geradores Sistema Distribuição Energia. Esta norma apresenta inicialmente as etapas para viabilização do acesso, como solicitação de acesso, parecer técnico de acesso, implantação da conexão e aprovação do ponto de conexão. Em seguida, são recomendados os critérios básicos para a conexão, requisitos de proteção, requisitos de qualidade (distorções harmônicas e tensão em regime permanente) e requisitos do sistema de medição de energia. As formas de conexão das unidades de geração distribuída também são relatadas, sendo essas descritas na Tabela A.14.

Tabela A.14 – Forma de Conexão às Distribuidoras FECOERUSC

<i>Potência Instalada</i>	<i>Nível de Tensão da Conexão</i>
Até 15 kW	Baixa tensão (monofásico, bifásico ou trifásico)
Acima de 15 kW até 25 kW	Baixa tensão (bifásico ou trifásico)
Acima de 25 kW até 75 kW	Baixa tensão (trifásico)
Acima de 75 kW até 1 MW	Média tensão (trifásico)

Fonte: Extraído de [78]

A norma técnica descreve em anexo o fluxograma das etapas de viabilização do acesso, modelo de requerimento para solicitação de acesso, modelo para solicitação de vistoria, informações para adequação do padrão de entrada, diagramas de orientação para a conexão e modelo do termo de responsabilidade [78].

### A.1.22. Iguaçu: Iguaçu Distribuidora de Energia Elétrica

A norma da distribuidora Iguaçu é a Norma Técnica para Conexão de Minigeração e Microgeração Distribuída de Energia, ao Sistema Elétrico da Iguaçu Energia. Nesta norma é relatado as etapas para a viabilização do acesso, como solicitação de acesso, parecer técnico de acesso, implantação da conexão e aprovação do ponto de conexão. A presente norma técnica também relata as formas de conexão da unidade de geração distribuída dependendo da potência instalada. Esses valores podem ser vistos na Tabela A.15.

Tabela A.15 – Forma de Conexão à Distribuidora Iguaçu

<i>Potência Instalada</i>	<i>Nível de Tensão da Conexão</i>
Até 15 kW	Baixa tensão (monofásico, bifásico ou trifásico)
Acima de 15 kW até 25 kW	Baixa tensão (bifásico ou trifásico)
Acima de 25 kW até 75 kW	Baixa tensão (trifásico)
Acima de 75 kW até 1 MW	Média tensão (trifásico)

Fonte: Extraído de [79]

Na norma são abordados os critérios para a conexão (desconexão e forma de conexão), requisitos de proteção, requisitos de qualidade da energia elétrica (distorção harmônica da corrente e tensão de regime permanente) e requisitos do sistema de medição de energia. Esta norma divulga em anexo as etapas para viabilização do acesso, modelo de requerimento para solicitação de acesso, modelo de requerimento para solicitação de vistoria, informações para adequação no padrão de entrada e diagramas para orientação da conexão [79].

### A.1.23. Light: Light Serviços de Eletricidade S/A

A distribuidora Light dispõe da norma técnica IT DTE/DTP-01/12: Procedimentos para Conexão de Microgeração e Minigeração ao Sistema de Distribuição da Light SESA BT e MT – Até 34,5 kV. A presente norma descreve as etapas para realização do acesso com seus objetivos, responsáveis e prazos. Estas etapas são: solicitação de acesso, parecer de acesso, contratos, implantação da conexão e aprovação do ponto de conexão.

A norma técnica da Light menciona os critérios técnicos que devem ser seguidos para a realização da conexão, como conexão em baixa tensão, características do sistema de distribuição da Light, esquema de conexão de geradores com ou sem inversores, conexão no sistema subterrâneo reticulado e medição de faturamento. Também são apresentadas as formas de conexão, as quais podem ser vistas na Tabela A.16.

Tabela A.16 – Forma de Conexão à Distribuidora Light

<i>Potência da Geração Instalada</i>	<i>Categoria de Conexão</i>
< 10 kW	Monofásico, bifásico ou trifásico
10 a 1000 kW	Trifásico
< 15 kW (rede rural com transformador exclusivo)	Monofásico

Fonte: Extraído de [80]

A presente norma também relata sobre os dispositivos de seccionamento visível, chave seccionadora sob carga, seccionamento remoto, padrão de entrada, conexão em média tensão, transformador de acoplamento, disjuntor de acoplamento, proteção, esquema de conexão,



medição de qualidade da energia e proteção de interligação da conexão. A norma técnica divulga os requisitos de qualidade e os requisitos de segurança idêntico as normas anteriores. Em anexo é ilustrado um exemplo da placa de advertência [80].

#### **A.1.24. Mux Energia: Muxfeldt, Marin e Cia Ltda.**

A distribuidora Muxfeldt apresenta seus requisitos para conexão de geração distribuída na norma técnica PQM 09: Procedimentos para Conexão de Micro e Minigeração Distribuída ao Sistema de Distribuição à Mux Energia. Esta norma expõe as etapas necessárias para a realização do acesso, como solicitação de acesso, parecer de acesso, procedimento para conexão, relacionamento operacional, acordo operativo, sistema de medição, vistoria e aprovação do ponto de conexão.

A norma técnica estabelece recomendações para a elaboração de projetos e os requisitos mínimos de segurança. A forma de conexão também é abordada, sendo definido de acordo com a potência da instalação e essa classificação pode ser observada na Tabela A.17.

Tabela A.17 – Forma de Conexão à Distribuidora Muxfeldt

<i>Potência Instalada</i>	<i>Tensão de Conexão</i>
< 10 kW	Baixa tensão (monofásico, bifásico ou trifásico)
De 10 a 75 kW	Baixa tensão (trifásico)
De 76 a 1000 kW	Média tensão (trifásico)

Fonte: Extraído de [81]

A norma PQM 09 expressa em anexo um modelo de relacionamento operacional para a microgeração distribuída com adesão ao sistema de compensação de energia, modelo do termo de responsabilidade, formulário para informações gerais do acessante, formulário para informações técnicas do acesso e formulário de registro de mini e micro geradores distribuídos participantes do sistema de compensação de energia elétrica [81].

#### **A.1.25. Nova Palma: Usina Hidroelétrica Nova Palma**

A distribuidora Nova Palma disponibiliza aos seus acessantes a norma técnica Microgeração e Minigeração Distribuída. Esta norma apresenta as condições gerais para realizar o acesso, as etapas para a viabilização do mesmo (solicitação de acesso, parecer de acesso e vistoria para liberação), relata as informações que devem constar no projeto elétrico, descreve os requisitos para aumento de carga da geração, especifica as condições técnicas para o padrão de entrada, informa os custos das adequações, relata a conexão da geração na rede de

baixa tensão com ou sem inversor e conexão da geração na rede de média tensão. Em anexo é apresentada as informações necessárias para realizar a solicitação de acesso [82].

### **A.1.26. Panambi: Hidroelétrica Panambi S/A**

A distribuidora Panambi possui a norma Conexão de Micro e Mini Geração Distribuída ao Sistema Elétrico. A referida norma dispõe das etapas para viabilização de acesso de micro e minigeração ao sistema de distribuição, como consulta de acesso, solicitação de acesso, parecer de acesso, contratos, implementação de conexões e aprovação do ponto de conexão.

A norma técnica também demonstra as condições específicas para conexão de módulos geradores em baixa e média tensão, padrão de entrada de energia em baixa tensão, sinalizações de proteção, registro de eventos, sistema data e hora, requisitos de qualidade de energia e condições de segurança.

A norma técnica expõe em anexo um modelo de solicitação de viabilidade de acesso, modelo de acesso em baixa tensão, modelo de acesso em média tensão, diagramas unifilares, modelo de placa de advertência, requisitos de proteção para geradores com conexão direta e geradores em média tensão [83].

### **A.1.27. Santa Maria: Empresa Luz e Força Santa Maria S/A**

A distribuidora Santa Maria possui a norma técnica Procedimentos para Conexão de Micro e Minigeração Distribuída ao Sistema Elétrico da Santa Maria. Esta norma inicialmente declara a forma de conexão para os acessantes, conforme é ilustrado na Tabela A.18. Para as unidades geradoras em baixa tensão e trifásicas a tensão deve ser 127/220V e para monofásicas considera a tensão de 127/254V. Os sistemas em média tensão trifásico podem ser atendidos em 11,4 kV e 24,2 kV e para sistemas monofásicos pode ser 6,6 kV e 13,97 kV.

Tabela A.18 – Forma de Conexão à Distribuidora Santa Maria

<i><b>Faixa de Potência</b></i>	<i><b>Nível de Tensão da Conexão</b></i>
< 10 kW	Baixa tensão (monofásico, bifásico ou trifásico)
De 10 a 75 kW	Baixa tensão (trifásico)
De 76 a 1000 kW	Média tensão (trifásico)

Fonte: Extraído de [84]

Em seguida, são definidos os procedimentos para acesso ao sistema de distribuição (solicitação de acesso, parecer de acesso, procedimentos para conexão, relacionamento operacional e acordo operativo, sistema de medição, vistoria e aprovação do ponto de conexão).

A norma também define as características necessárias dos projetos e descreve os procedimentos de segurança. Em anexo, é exibido o resumo das etapas de acesso, diagramas unifilares, modelo de relacionamento operacional para a microgeração distribuída com adesão ao sistema de compensação de energia e modelo do termo de responsabilidade [84].

### A.1.28. Sulgipe: Companhia Sul Sergipana de Eletricidade

A Companhia Sul Sergipana de Eletricidade apresenta aos seus acessantes a norma técnica NTD-33: Procedimentos para Conexão de Micro e Minigeração Distribuída. Nesta é relatado as características do sistema de distribuição em baixa e média tensão da Sulgipe e definido a forma de conexão de acordo com a potência instalada, a qual pode ser visualizada na Tabela A.19. Os sistemas em baixa tensão monofásico podem ser conectados em 127V ou 220V e aos sistemas bifásicos ou trifásicos são permitidos conexão em 220/127V ou 380/220V. Para o sistema de média tensão é estabelecido conexão apenas trifásica em 13,8 kV.

Tabela A.19 – Forma de Conexão à Distribuidora Sulgipe

<i>Potência</i>	<i>Nível da Conexão</i>
Menor que 10 kW	Baixa tensão da distribuição (monofásico, bifásico ou trifásico)
De 10 a 75 kW	Baixa tensão da distribuição (trifásico)
De 76 a 1000 kW	Média tensão da distribuição (trifásico)

Fonte: Extraído de [85]

A norma também aborda as etapas para a realização do acesso ao sistema de distribuição, como solicitação de acesso, parecer de acesso, procedimentos para conexão, relacionamento operacional, acordo operativo, medição, vistoria e aprovação do ponto de conexão. Na norma são definidas as características necessárias no projeto, os requisitos mínimos para o ponto de conexão (proteção, estudo de curto-circuito, medição e ensaios) e requisitos de segurança.

Em seguida, é exibido o resumo das etapas de acesso, diagramas unifilares, modelo de relacionamento operacional para microgeração distribuída com adesão ao sistema de compensação de energia e modelo de acordo operativo para minigeração distribuída. Em anexo, é informado um modelo para contatos de relacionamento, modelos de termos de responsabilidade, modelo de solicitação de acesso à Sulgipe e modelo de registro de central geradora [85].

### A.1.29. Urussanga: Empresa Força e Luz de Urussanga Ltda.

A distribuidora Empresa Força e Luz de Urussanga possui a norma técnica NTE 002: Requisitos para a Conexão de Micro ou Mini Geradores de Energia no Sistema Elétrico da EFLUL. A norma estabelece as definições e condições necessárias para a viabilização do acesso, como solicitação de acesso, parecer técnico de acesso, implantação da conexão e aprovação do ponto de conexão. Esta apresenta a forma de conexão das unidades de geração distribuída dependendo da faixa de potência em que a mesma possui. Essas formas de conexão podem ser visualizadas na Tabela A.20.

Tabela A.20 – Forma de Conexão à Distribuidora Urussanga

<i>Potência</i>	<i>Nível da Conexão</i>
Até 15 kW	Baixa tensão (monofásico, bifásico ou trifásico)
Acima de 15 até 25 kW	Baixa tensão (bifásico ou trifásico)
Acima de 25 até 75 kW	Baixa tensão (trifásico)
Acima de 75 até 1 MW	Média tensão

Fonte: Extraído de [86]

A norma NTE 002 também esclarece os critérios básicos para a conexão, requisitos do sistema de proteção, parâmetros de qualidade de energia (distorção harmônica e tensão em regime permanente) e requisitos do sistema de medição de energia. Em anexo da norma, são descritos o fluxograma para as etapas de viabilização do acesso, modelo de requerimento para solicitação de acesso, modelo de requerimento para solicitação de vistoria, especificações para adequação no padrão de entrada e diagramas de orientação para a conexão [86].