

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
ENGENHARIA ELÉTRICA

GUILHERME ARAUJO GUEDES
MATHEUS CUNHA ARANTES DE SOUZA
THALES FREITAS DOS SANTOS

**ESTUDO DOS CRITÉRIOS NECESSÁRIOS PARA CONEXÃO DOS
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE E PROPOSTA
DOS CRITÉRIOS NECESSÁRIOS PARA CONEXÃO DOS SFVCR
COM *BACKUP* DE ENERGIA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA
2014

GUILHERME ARAUJO GUEDES
MATHEUS CUNHA ARANTES DE SOUZA
THALES FREITAS DOS SANTOS

**ESTUDO DOS CRITÉRIOS NECESSÁRIOS PARA CONEXÃO DOS
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE E PROPOSTA
DOS CRITÉRIOS NECESSÁRIOS PARA CONEXÃO DOS SFVCR
COM *BACKUP* DE ENERGIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Eletricista, do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Me. Gérson M.Tiepolo

CURITIBA

2014

**GUILHERME ARAUJO GUEDES
MATHEUS CUNHA ARANTES DE SOUZA
THALES FREITAS DOS SANTOS**

**ESTUDO DOS CRITÉRIOS NECESSÁRIOS PARA CONEXÃO DOS SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE E PROPOSTA DOS CRITÉRIOS
NECESSÁRIOS PARA CONEXÃO DOS SFVCR COM *BACKUP* DE ENERGIA**

Este Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação foi julgado e aprovado como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Eletricista, do curso de Engenharia Elétrica do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica (DAELT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Curitiba, 25 de fevereiro de 2014.

Prof. Emerson Rigoni, Dr.
Coordenador de Curso
Engenharia Elétrica

Profa. Annemarlen Gehrke Castagna, Mestre
Responsável pelos Trabalhos de Conclusão de Curso
de Engenharia Elétrica do DAELT

ORIENTAÇÃO

Prof. Gerson Máximo Tiepolo, Mestre
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Orientador

BANCA EXAMINADORA

Prof. Gerson Máximo Tiepolo, Mestre
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Jair Urbanetz Junior, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Joaquim Eloir Rocha, Dr.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica

RESUMO

GUEDES, G.; CUNHA, M.; SANTOS, T. Estudo dos critérios necessários para a conexão dos sistemas fotovoltaicos à rede e proposta dos critérios necessários para a conexão dos SFVCR com *backup* de energia. 2014. 127 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

O aumento no consumo de energia elétrica, devido ao aumento populacional e ao crescimento das atividades industriais e comerciais resultante desta demanda, exige o surgimento de novas alternativas para garantir o abastecimento ininterrupto. Paralelamente, o tema Desenvolvimento Sustentável tem ganhado cada vez mais repercussão na agenda pública mundial, contribuindo para uma consciência cada vez maior da necessidade de preservação dos recursos naturais. Neste contexto, surge a tendência de utilização de fontes de energia ditas como “fontes limpas de energia”, renováveis e com baixo impacto ao meio-ambiente, como, por exemplo, a solar fotovoltaica. Na Europa, principalmente através de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFVCR), o cenário tem favorecido a geração distribuída, graças a políticas públicas implantadas no setor. No Brasil, o governo federal, por meio da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), começou a dar mostras de apoio à inserção de SFVCR, vistos como uma forma de geração distribuída. Destaca-se a publicação da Chamada Nº13/2011 e da Resolução Normativa Nº482/2012, sendo a última responsável pela regulamentação da micro e minigeração distribuída no país. Assim sendo, as distribuidoras de energia elétrica criaram normas técnicas para a inserção de SFVCR ao longo dos alimentadores da rede de distribuição elétrica. Este trabalho tem como objetivo estudar as normas técnicas editadas pelas concessionárias, para micro e mini geração distribuída, observando pontos críticos, principais características, fatores e limitações tecnológicas. Como resultado final, serão propostas melhorias nas normas atuais e será elaborada uma proposta com os critérios necessários para a conexão de SFVCR com *backup* de energia – uma modalidade ainda não contemplada.

Palavras-chave: Desenvolvimento sustentável. Energia solar fotovoltaica. Sistemas fotovoltaicos. Geração distribuída.

ABSTRACT

GUEDES, G.; CUNHA, M.; SANTOS, T. Study of the requirements for the connection of PV systems to the grid and a proposal of requirements for the connection of on-grid solar system with power backup. 2014. 127 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2014.

The increase in electricity consumption, justified by population growth and the evolution of industrial and commercial activities resulting from this demand, requires the emergence of new alternatives to ensure uninterrupted supply. At the same time, Sustainable Development increased its influence on worldwide public agenda, contributing to a growing awareness on the preservation of natural resources. In this context, there is a tendency to use energy sources known as "clean energy sources", renewable and with low impact to the environment, e.g., solar photovoltaic. In Europe, mainly through on-grid solar systems, the scenario has favored the distributed generation, due to public policies implemented in the sector. In Brazil, the federal government, through the National Electric Energy Agency (ANEEL), started supporting on-grid solar systems seen as a way of distributed generation – here, the publication of the Call No. 13/2011 and the Normative Resolution No. 482/2012 needs to be highlighted. The Normative Resolution No. 482/2012 is responsible for the regulation of distributed mini and micro generation in the country and, in consequence, electricity distribution companies have created technical standards for the insertion of on-grid solar systems over electric distribution network. This assignment will be devoted to the study of these technical standards issued by distribution companies, for distributed mini and micro generation, watching spots, main characteristics, factors and technological limitations. As a final result, the objective is the proposal of improvements in current standards and the preparation of a proposal with the requirements for the connection of on-grid solar systems with power backup - a modality not yet covered.

Keywords: Sustainable development. Solar photovoltaics. Photovoltaic systems. Distributed generation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Crescimento das fontes de energia elétrica	15
Figura 2: Distribuição da produção de energia elétrica global por fonte de energia..	16
Figura 3: Sistema Fotovoltaico Domiciliar no Amazonas	18
Figura 4: Potência acumulada (PVPS) entre 1992 e 2012.....	19
Figura 5: Matriz elétrica brasileira	27
Figura 6: Esferas do Desenvolvimento Sustentável.....	35
Figura 7: Capacidade hidroelétrica mundial instalada.....	38
Figura 8: Evolução da capacidade eólica instalada no mundo.....	40
Figura 9: Ilustração da grade metálica em uma célula FV	41
Figura 10: Célula, módulo e painel FV	41
Figura 11: Tipos de sistemas fotovoltaicos	42
Figura 12: Sistema fotovoltaico isolado – SFVI.....	43
Figura 13: Controlador de carga e banco de baterias	44
Figura 14: Inversor para SFI.....	44
Figura 15: Painel FV e inversor de um SFVCR.....	45
Figura 16: Constituição de um SFVCR instalado junto ao consumidor.....	46
Figura 17: Usina solar em Tauá/Ceará	46
Figura 18: SFVCR com <i>backup</i> de energia.....	47
Figura 19: Inversor para SFCVR com backup de energia.....	48
Figura 20: SFVR com <i>backup</i> de energia da UFPE	49
Figura 21: Evolução da capacidade FV instalada entre os anos de 1992 e 2012.....	50
Figura 22: Os 10 países com maior capacidade FV instalada	51
Figura 23: Procedimentos burocráticos da micro e minigeração distribuída	57
Figura 24: Participação, por país, na capacidade fotovoltaica mundial instalada	76
Figura 25: Mapa solar da Alemanha	77
Figura 26: Adições anuais de capacidade fotovoltaica na Alemanha (1990 - 2012) .	79
Figura 27: Papel do DKE na criação de normas no cenário alemão e europeu.....	81
Figura 28: Curva de carga típica de um consumidor residencial.....	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores de referência para pontos de conexão com tensão igual ou inferior a 1 kV	62
Tabela 2: Valores de referência para pontos de conexão com tensão superior a 1 kV e inferior a 69 kV	62
Tabela 3: Valores de referência globais das distorções harmônicas totais	62
Tabela 4: Terminologia.....	63
Tabela 5: Valores de referência para PstD95% e PltS95%.....	63
Tabela 6: Proposição de valores de referência para pontos de conexão com tensão igual ou inferior a 1 kV.....	95
Tabela 7: Proposição de valores de referência para pontos de conexão com tensão superior a 1 kV e inferior a 69 kV	96
Tabela 8: Proposição de valores de referência para PstD95% e PltS95%	96
Tabela 9: Valores de referência globais das distorções harmônicas totais	97

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Solicitação e parecer de acesso.....	56
Quadro 2: Níveis de tensão considerados para conexão de micro e minicentrals geradoras	58
Quadro 3: Requisitos mínimos de proteção em função da potência instalada.....	61
Quadro 4: Distribuidoras de energia elétrica atuantes em território nacional (continua)	65
Quadro 5: Redução das tarifas prêmio na Alemanha, de acordo com a revisão da EEG.....	79
Quadro 6: Tarifas-prêmio pagas a instalações fotovoltaicas integradas à rede elétrica pública na Alemanha.....	80
Quadro 7: Taxas de harmônicos de corrente	85
Quadro 8: Funções e valores padrão para configuração do NS <i>protection</i>	86
Quadro 9: Proposição do nível de tensão de conexão conforme potência instalada	94
Quadro 10: Proposição de funções e valores padrão para configuração do NS <i>protection</i>	94

LISTA DE SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRADEE: Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica
AES SUL: AES Sul Distribuidora Gaúcha de Energia S.A.
AES ELETROPAULO: Metropolitana Eletricidade de São Paulo S.A.
ALIANÇA: Cooperativa Aliança
AMPLA: Ampla Energia e Serviços S.A.
ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica
BORBOREMA: Energisa Borborema
BP: *British Petroleum*
BRAGANTINA: Empresa Elétrica Bragantina S.A.
BTU: *British Thermal Unit*
CAIUÁ: Caiuá Serviços de Eletricidade S.A.
CEA: Companhia de Eletricidade do Amapá
CEB: Companhia Energética de Brasília
CEEE: Companhia Estadual de Energia Elétrica
CELESC: Centrais Elétricas de Santa Catarina S. A.
CELG: Companhia Energética de Goiás
CELPA: Centrais Elétricas do Pará S.A.
CELPE: Companhia Energética de Pernambuco
CELTINS: Companhia de Energia Elétrica do Estado do Tocantins
CEMAR: Companhia Elétrica do Maranhão
CEMAT: Centrais Elétricas Matogrossense
CEMIG: Companhia Energética de Minas Gerais
CENELEC: *European Committee for Electrotechnical Standardization*
CERR: Companhia Energética de Roraima
CFLO: Companhia Força e Luz do Oeste
CHESP: Companhia Hidroelétrica São Patrício
COCEL: Companhia Campolarguense de Energia
COELBA: Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia
COELCE: Companhia Energética do Ceará
COPEL: Companhia Paranaense de Energia
COSERN: Companhia Energética do Rio Grande do Norte
CPFL JAGUARI: Companhia Jaguari de Energia
CPFL LESTE: Companhia Paulista de Energia Elétrica
CPFL MOCOCA: Companhia Luz e Força Mococa
CPFL PAULISTA: Companhia Paulista de Força e 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
DEMEI: Departamento Municipal de Energia de Ijuí
DKE: *German Commission Electrical, Electronic and Information Technologies*
DMED: DME Distribuição S.A.
EDP BANDEIRANTE: Bandeirante Energia S.A.
EDP ESCELSA: Espírito Santo Centrais Elétricas S.A.
ELEKTRO: Elektro Eletricidade e Serviços S.A.
ELETROBRAS AC: Eletrobras Distribuição Acre
ELETROBRAS AL: Eletrobras Distribuição Alagoas
ELETROBRAS AM: Eletrobras Amazonas Energia

ELETOBRAS PI: Eletrobras Distribuição Piauí
ELETOBRAS RO: Eletrobras Distribuição Rondônia
ELETOBRAS RR: Eletrobras Distribuição Roraima
ELETROCAR: Centrais Elétricas de Carazinho S.A
ENERGISA MG: Energisa Minas Gerais
ENERGISA PB: Energisa Paraíba
ENERGISA SE: Energisa Sergipe
ENERSUL: Empresa Energética de Mato Grosso do Sul
EPE: Empresa de Pesquisa Energética
EPIA: *European Photovoltaic Industry Association*
FAPESP: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
FIEP: Federação das Indústrias do Estado do Paraná
FORCEL: Força e Luz Coronel Vivida Ltda.
FV: Fotovoltaico
GD: Geração Distribuída
ICMS: Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IEA: *International Energy Agency*
IEC: *International Electrotechnical Commission*
IGUAÇU: Iguaçu Distribuidora de Energia Elétrica Ltda.
INEE: Instituto Nacional de Eficiência Energética
JARI: Jari Energética S/A. - JESA
JOÃO CESA: Empresa Força e Luz João Cesa Ltda
LIGHT: Light Serviços de Eletricidade S.A.
MME: Ministério das Minas e Energia
MUXFELDT: Muxfeldt, Marin & Cia Ltda.
NACIONAL: Companhia Nacional de Energia Elétrica
NS: *Network System*
NOVA FRIBURGO: Energisa Nova Friburgo
NOVA PALMA: Usina Hidroelétrica Nova Palma
ONU: Organização das Nações Unidas
PANAMBI: Hidroelétrica Panambi S.A
PARANAPANEMA: Empresa de Eletricidade Vale do Paranapanema S.A.
PRODIST: Procedimentos de Distribuição Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
PVPS: *Photovoltaic Power Systems Programme*
REN: *Renewable Energy*
RGE: Rio Grande Energia S.A.
SANTA MARIA: Empresa Luz e Força Santa Maria S.A
SENAI: Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SFI: Sistema Fotovoltaico Isolado
SFVCR: Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede
SULGIPE: Companhia Sul Sergipana de Eletricidade
UFPE: Universidade Federal de Pernambuco
URUSSANGA: Empresa Força e Luz de Urussanga Ltda.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. TEMA.....	13
1.1.1. CENÁRIO ENERGÉTICO.....	14
1.1.2. FONTES DE ENERGIA ELÉTRICA.....	16
1.1.3. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	17
1.1.1.1. Delimitação do tema.....	20
1.2. PROBLEMA E PREMISSAS.....	21
1.3. OBJETIVOS	21
1.3.1. OBJETIVO GERAL	21
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
1.4. JUSTIFICATIVA	22
1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	23
1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO	23
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	25
2.1. CENÁRIO ENERGÉTICO.....	25
2.1.1. HISTÓRICO	25
2.1.2. CENÁRIO ATUAL.....	27
2.1.3. CENÁRIO FUTURO	28
2.2. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	28
2.2.1. HISTÓRICO	29
2.2.1.1. Conferência de Estocolmo (1972).....	30
2.2.1.2. Relatório Brundtland (1987)	30
2.2.1.3. Rio 92 (1992).....	31
2.2.1.4. Protocolo de Kyoto (1997).....	31
2.2.1.6. Rio+20 (2012).....	33
2.2.2. DEFINIÇÃO ATUAL	33
2.2.2.1. Sustentabilidade ambiental	33
2.2.2.2. Sustentabilidade econômica.....	34
2.2.2.3. Sustentabilidade sócio-política	34
2.2.3. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E ENERGIA ELÉTRICA	35
2.3. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	36
2.4. FONTES DE ENERGIA ELÉTRICA	36
2.4.1. GERAÇÃO TERMOELÉTRICA.....	37
2.4.2. GERAÇÃO NUCLEAR	37
2.4.3. GERAÇÃO HIDROELÉTRICA.....	38
2.4.4. GERAÇÃO EÓLICA	39
2.4.5. GERAÇÃO FOTOVOLTAICA.....	40
2.5. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	42
2.5.1. SISTEMA FOTOVOLTAICO ISOLADO (SFI)	42
2.5.2. SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE (SFVCR)	44
2.5.2.1. Instalações junto ao consumidor	45
2.5.2.2. Instalações de grande porte	46
2.5.3. SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE COM <i>BACKUP</i> DE ENERGIA (SFVCR COM <i>BACKUP</i> DE ENERGIA).....	47

2.5.2.2. Exemplo de operação.....	48
2.5.4. PANORAMA MUNDIAL.....	49
2.5.5. PANORAMA NACIONAL.....	51
2.4.5.1. Chamada nº 13.....	52
2.4.5.1. Resolução Normativa nº 482.....	52
2.4.5.2. Resolução Normativa nº 517.....	53
3. LEVANTAMENTO DE DADOS – CENÁRIO NACIONAL.....	55
3.1. ACESSO DE MICRO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA (SEÇÃO 3.7).....	55
3.1.1. SOLICITAÇÃO DE ACESSO.....	55
3.1.2. PARECER DE ACESSO.....	56
3.1.3. CRITÉRIOS TÉCNICOS E OPERACIONAIS.....	57
3.1.3.1. Ponto de conexão.....	58
3.1.3.2. Conexão.....	58
3.1.3.2.1. Tensão de conexão.....	58
3.1.3.2.2. Requisitos mínimos.....	58
3.1.3.2.3. Valores de referência.....	61
3.1.3.3. Sistema de medição.....	64
3.2. NORMATIZAÇÃO POR PARTE DAS DISTRIBUIDORAS DE ENERGIA ELÉTRICA.....	64
3.2.1. DISTRIBUIDORAS DE ENERGIA ELÉTRICA.....	65
3.2.2. METODOLOGIA DE PESQUISA.....	66
3.2.3. APRESENTAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS.....	67
4. LEVANTAMENTO DE DADOS – CENÁRIO INTERNACIONAL.....	76
4.1. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NA ALEMANHA.....	77
4.1.1. NORMATIZAÇÃO ALEMÃ PARA A CONEXÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS À REDE.....	80
4.1.1.1. Aspectos burocráticos.....	81
4.1.1.1.1. Sistema de medição.....	82
4.1.1.2. Aspectos técnicos.....	83
4.1.1.2.1. Manutenção da qualidade de energia.....	83
4.1.1.2.2. Proteção do sistema de geração e da rede.....	85
4.1.1.2.3. Operação.....	86
4.1.2. COMPARAÇÃO ENTRE NORMATIZAÇÃO ALEMÃ E BRASILEIRA.....	87
4.1.2.1. Possíveis melhorias na normatização Brasileira.....	88
4.1.3. NORMATIZAÇÃO ALEMÃ PARA A CONEXÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS À REDE COM <i>BACKUP</i> DE ENERGIA.....	89
4.1.3.1. Aspectos burocráticos.....	89
4.1.3.2. Aspectos técnicos.....	90
4.1.4. PROPOSTA PARA REGULAMENTAÇÃO DA CONEXÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE COM <i>BACKUP</i> DE ENERGIA NO BRASIL.....	91
4.1.4.1. Escopo.....	91
4.1.4.2. Aspectos burocráticos.....	92
4.1.4.3. Sistema de medição.....	93
4.1.4.4. Aspectos técnicos e operacionais.....	93
4.1.4.4.1. Ponto de conexão.....	93
4.1.4.4.2. Tensão de conexão.....	93

4.1.4.4.3. Requisitos mínimos de proteção do sistema de geração e da rede elétrica	94
4.1.4.4.4. Critérios para operação	95
4.1.4.5. Manutenção da qualidade de energia	95
4.1.4.5. Considerações finais desta proposição	97
5. CONCLUSÃO	98
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	100
APÊNDICE A	113
ANEXO A	116

1. INTRODUÇÃO

1.1. TEMA

Os últimos 300 anos, segundo Dias (2005), foram marcados por inigualável desenvolvimento tecnológico da humanidade, sendo este período o de maiores descobertas em todos os campos da ciência, concedendo assim ao homem grande poder de manipulação dos elementos naturais. Porém, este também foi o período em que foram geradas condições para que o homem seja levado à extinção. Dias (2005) afirma que o processo de contaminação excessiva do meio ambiente foi acelerado pela Revolução Industrial e que sua compreensão, seguida de um processo de conscientização, é vital para que sejamos capazes de desenvolver soluções adequadas.

A Revolução Industrial teve seu início na Inglaterra no século XVIII e logo se espalhou pelos outros países, desenvolvendo economias, prosperidade e qualidade de vida. Porém tal crescimento, de forma desordenada, demandou consumo excessivo de recursos naturais renováveis e não renováveis (DIAS, 2005).

Segundo Vicentino (2002), por volta de 1860, ocorreu uma segunda fase desta revolução, chamada de Segunda Revolução Industrial: “O uso da energia elétrica e do petróleo, graças à maior potência e eficiência, permitiu a intensificação e diversificação do desenvolvimento tecnológico”. O petróleo e seus combustíveis derivados permitiram a criação dos motores a explosão, gerando assim uma nova fase no desenvolvimento industrial. Durante o século XX, tornou-se a fonte de energia mais amplamente utilizada, seja pela versatilidade de utilização ou pelo baixo custo. Entretanto, segundo Gasparetto Jr. (2010), no fim do século XX, o petróleo entrou em crise causada pelo déficit em sua oferta, ou seja, concluiu-se que o recurso natural não é renovável.

Tanto o petróleo como o carvão mineral são as chamadas fontes não renováveis de energia, as quais estão disponíveis na natureza, mas cuja formação se dá em longos períodos de tempo e não podem ser repostos na mesma velocidade de consumo (POMILIO, 2003). Além da finitude de reservas, essas fontes energéticas são caracterizadas pelo negativo impacto ambiental (CIRRUS, 2007, p. 24).

A preocupação ambiental – ou movimentos ambientalistas – teve, na Revolução Industrial, sua fonte de inspiração. Os incrementos tecnológicos, como a máquina a vapor, trouxeram problemas que até então não existiam, como a poluição, o excessivo aumento da necessidade de matéria prima e de energia. A nova sociedade, ideologicamente consumista, gerava as primeiras reflexões sobre a ação danosa do homem sobre a natureza. Devido às dificuldades inerentes à época, seja de comunicação, política ou mesmo social, o desenvolvimento destas ideias foi lento e ocorreu apenas durante a Segunda Guerra Mundial (1939-1945), com testes e uso de armas atômicas, que reacendeu a preocupação com os assuntos ambientais, devido ao temor da contaminação em função da poluição por radiação (FONSECA, 1999, p. 1-4).

A partir da segunda metade do século XX, acompanhando o crescimento econômico mundial, também cresceram os problemas ambientais e sua visibilidade para a população dos países desenvolvidos, os primeiros a serem afetados pela Revolução Industrial. Segundo Dias (2005), a conscientização ambiental aliada ao aumento de denúncias referentes a problemas ambientais refletiram na criação de normas, regulamentos internacionais e órgãos responsáveis pela fiscalização das mesmas (a nível nacional e internacional). Destacam-se a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, realizada no ano de 1972 em Estocolmo, Suécia, que resultou em um Plano de Ação para o Meio Ambiente Humano com 109 recomendações e o documento intitulado Estratégia Mundial para a Conservação da Natureza, de 1980, o qual definiu a sustentabilidade como “Uma característica de um processo ou estado que pode manter-se indefinidamente” (DIAS, 2005, p.12-30). Este novo cenário exige que as empresas e organizações moldem suas estratégias e planos de acordo com as demandas ambientais;

1.1.1. Cenário Energético

O cenário energético brasileiro caracteriza-se por um forte crescimento da demanda, escassez de oferta e restrições financeiras, socioeconômicas e ambientais à expansão do sistema (ANEEL, 2002). A Empresa de Pesquisa Energética – EPE, vinculada ao Ministério de Minas e Energia – MME, publicou no estudo “Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2012 –

2021)” uma previsão de crescimento na demanda por energia elétrica no país a uma taxa média de 4,3% ao ano. No âmbito mundial, a demanda por eletricidade continuará crescendo intensamente, sendo, em 2040, 85% maior do que a demanda no ano de 2010 (*EXXONMOBIL CORPORATION, 2013*). A Figura 1 mostra a tendência de crescimento para cada fonte utilizada na geração de energia elétrica, todas convertidas para a mesma unidade, BTU – *British Thermal Unit*.

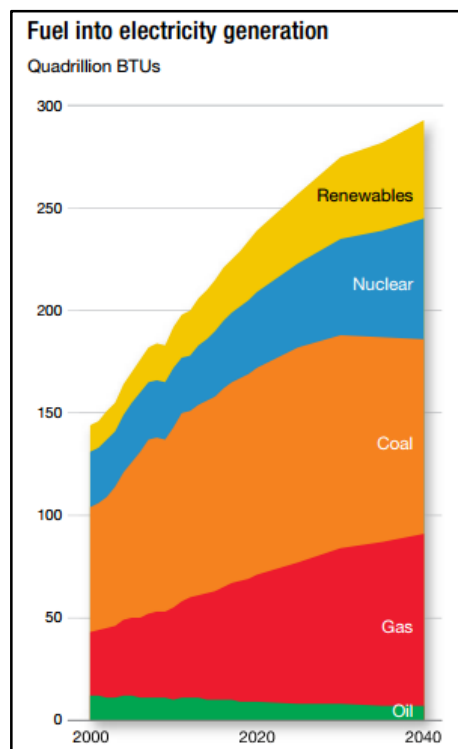


Figura 1: Crescimento das fontes de energia elétrica
Fonte: ExxonMobil Corporation, 2013

Diante do aspecto do desenvolvimento sustentável e do aumento na demanda por energia elétrica, é fundamental o planejamento do setor elétrico de forma que seja garantida a continuidade do abastecimento de energia ao menor custo, com o menor risco e menores impactos socioeconômicos e ambientais para a sociedade. Deve-se, dentro deste planejamento, ter atenção especial à energia elétrica, a qual é fundamental para o estágio atual de desenvolvimento da humanidade, nas suas mais diversas fontes geradoras de energia renováveis e não renováveis (TIEPOLO et al., 2013).

Tal planejamento deve também contemplar o igual acesso da população à energia elétrica. Segundo a ANEEL (2002), aproximadamente um terço da população mundial não tem acesso à energia elétrica e boa parte da parcela

atendida é ainda de forma precária. Já o cenário brasileiro é menos crítico, porém ainda assim preocupante. Mais de 80% da população brasileira vive em zonas urbanas, e destes, a maioria em periferias de grandes centros urbanos, o que implica, na maioria das vezes, em condições precárias de abastecimento elétrico, já que grande parte dos recursos energéticos do país localizam-se em regiões afastadas destes grandes centros consumidores e com fortes restrições ambientais. Portanto, busca-se desenvolver economicamente as regiões fornecedoras de maneira sustentável e garantir o suprimento de energia elétrica em todas as regiões do país, com destaque aos grandes centros urbanos. Para tal, uma das possíveis soluções é o desenvolvimento em larga escala da geração distribuída (ANEEL, 2002).

Segundo o Instituto Nacional de Eficiência Energética – INEE, a Geração Distribuída – GD refere-se à geração de energia elétrica junto ou próximo ao consumidor final independente da potência, tecnologia e fonte de energia. Alguns exemplos de fontes de energia passíveis de compor uma GD são: biomassa, geradores de emergência, painéis fotovoltaicos, pequenas centrais hidrelétricas e geradores eólicos.

1.1.2. Fontes de Energia Elétrica

De forma geral, as principais fontes utilizadas na geração de energia elétrica são: hidroelétrica, nuclear, eólica, solar, termoelétrica, dentre outras. A Figura 2 mostra a distribuição da produção de energia elétrica global por fonte de energia ao final do ano de 2012.

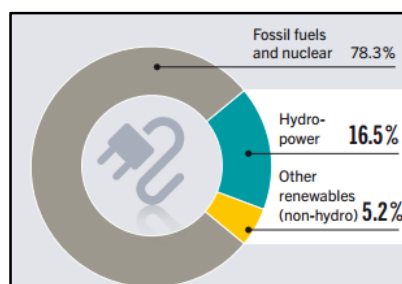


Figura 2: Distribuição da produção de energia elétrica global por fonte de energia
Fonte: Ren21, 2013

Nota-se que ainda é significativa a parcela referente aos combustíveis fósseis, os quais são usados para geração de energia elétrica a partir, principalmente, de termoelétricas. Entretanto, existe uma forte tendência da diminuição da sua participação na matriz elétrica em favor de alternativas não poluentes através de fontes renováveis (TIEPOLO et al., 2013). Já a geração de energia elétrica por fontes nucleares causa polêmica, já que é considerada uma fonte perigosa (URBANETZ, 2010, p.27-28). O vazamento de material radioativo na cidade de Fukushima, no Japão, confirma a fragilidade deste sistema e evidenciam seus impactos sociais e ambientais.

A energia elétrica gerada a partir de usinas hidroelétricas, principal fonte utilizada no Brasil, está em constante discussão devido aos impactos ambientais gerados pela implantação dessas usinas - vastas áreas são inundadas pela necessidade da formação de reservatórios (URBANETZ, 2010).

Ainda no campo da geração por fonte renovável, outras fontes alternativas vêm tomando corpo, caso da gerações eólica e fotovoltaica (TIEPOLO e CANGIOLIERI, 2012). Ao fim de 2012, a potência eólica atingiu 1894 MW. Este número fez dobrar a fatia desta fonte na matriz elétrica nacional (ANEEL, 2013). Já a geração de eletricidade por fonte fotovoltaica é uma tendência cada vez maior, principalmente pelos avanços tecnológicos que aumentaram sua eficiência e diminuiram os custos de implantação (TIEPOLO et al., 2013).

1.1.3. Sistemas Fotovoltaicos

Frente todas as possibilidades de geração alternativa de energia elétrica, o cenário energético global até 2020 indica mudanças tecnológicas, novas descobertas e a substituição dos recursos utilizados atualmente para o desenvolvimento de uma matriz energética mais eficiente, com maior oferta de energias renováveis e novas forças energéticas em destaque. De acordo com especialistas, em um prazo de 40 anos, a energia solar deverá estar consolidada no panorama energético, de modo que governos tornarão obrigatória a instalação de painéis fotovoltaicos em edifícios públicos (SENAI – FIEP, 2007). Logo a produção de energia elétrica a partir da fonte fotovoltaica surge como opção a ser analisada no Brasil e no mundo (BENEDITO, 2009);

Os sistemas fotovoltaicos, responsáveis pela conversão e posterior disponibilização da energia gerada, são divididos em dois grandes grupos: sistemas isolados ou autônomos e sistemas conectados à rede.

Os sistemas fotovoltaicos isolados são utilizados em locais onde a energia convencional não está disponível, seja por razão comercial, técnica ou ambiental. São basicamente compostos por células solares, bancos de baterias, inversores de corrente, reguladores de carga nas baterias e elementos de proteção (BENEDITO, 2009). A Figura 3 mostra um Sistema Fotovoltaico Domiciliar – instalado na comunidade isolada de São Francisco do Aiucá, no estado do Amazonas.



Figura 3: Sistema Fotovoltaico Domiciliar no Amazonas
Fonte: (Mocelin, 2007)

A Agência Internacional de Energia – IEA (do inglês, *International Energy Agency*) possui um programa para desenvolvimento de projetos em prol da utilização da energia fotovoltaica chamado Programa de Sistema de Energia Fotovoltaica – PVPS (do inglês, *Photovoltaic Power System Programme*). Em seu boletim mais recente, denominado “*Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2012*”, o PVPS divulgou que a potência de sistemas fotovoltaicos isolados nos países membros¹ do programa é de 548 MW. Ainda segundo o PVPS, este valor representa apenas, aproximadamente, 0,615% da potência fotovoltaica total gerada

¹Os países membros do PVPS são Austrália, Áustria, Bélgica, Canadá, China, Dinamarca, União Europeia, França, Alemanha, Israel, Itália, Japão, Coreia do Sul, Malásia, México, Holanda, Noruega, Portugal, Espanha, Suécia, Suíça, Turquia, Reino Unido e Estados Unidos.

por países membros. Esta participação é pouco expressiva no montante geral devido à maior utilização de outro tipo de aplicação, descrita a seguir.

A grande maioria da potência fotovoltaica total gerada origina-se dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede - SFVCR (IEA, 2013). Segundo Câmara (2011), quando sem *backup* de energia, estes sistemas dispensam o uso de baterias/acumuladores, utilizados nos sistemas isolados, pois a energia gerada é consumida pela carga ou injetada na rede elétrica convencional, para ser comercializada a outras unidades conectadas ao sistema de distribuição. Para os casos com *backup* de energia, estes sistemas possuem um banco de baterias para garantir abastecimento ininterrupto quando o déficit entre energia produzida e utilizada não pode ser provido pela rede ou quando não há incidência solar suficiente para a geração.

A Figura 4 demonstra a evolução da participação de sistemas isolados e de sistemas conectados à rede perante a potência total acumulada, nos países membros do PVPS, entre os anos 1992 e 2012.

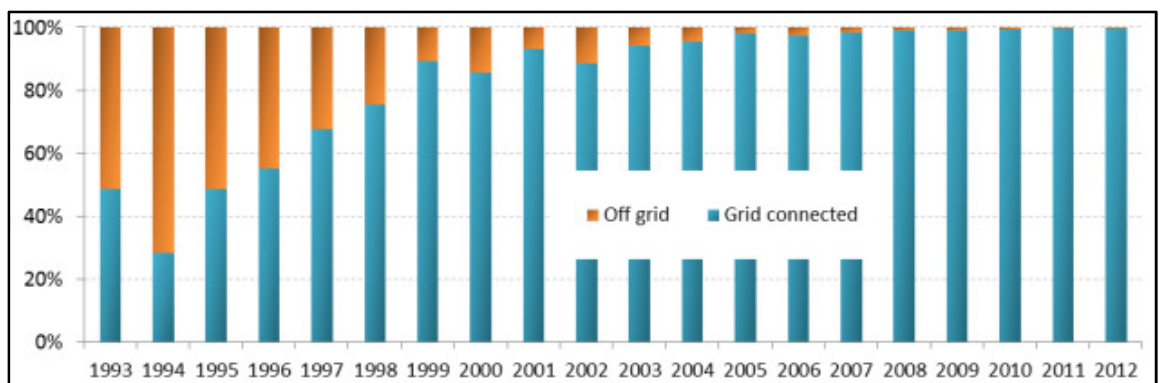


Figura 4: Potência acumulada (PVPS) entre 1992 e 2012

Fonte: IEA, 2013

Neste gráfico é possível constatar o crescimento na participação dos sistemas conectados à rede, em azul, em relação aos sistemas isolados, em laranja. Apenas em 2012, foram instalados cerca de 25 GW de potência a partir de sistemas conectados à rede em países membros do PVPS (IEA, 2013).

O crescimento acentuado na instalação dos SFVCR é consequência das políticas públicas criadas, principalmente na Europa, para incrementar os investimentos nesta tecnologia e regulamentar a conexão dos sistemas à rede (TIEPOLO et al., 2013).

Baseado na tendência de incentivos favoráveis à utilização dos SFVCR, o governo brasileiro, em agosto de 2011, através da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL tornou pública a Chamada N°. 013/2011 “Arranjos técnicos e comerciais para a inserção da geração solar fotovoltaica na matriz energética brasileira”. Dentre os vários objetivos da agência com esta chamada resume-se: incentivar a cadeia produtiva da indústria solar fotovoltaica nacional, fomentar projetos em universidade e escolas técnicas e criar aperfeiçoamentos regulatórios que favoreçam a viabilidade econômica da geração solar fotovoltaica. Para tanto, empresas de distribuição e geração de energia deveriam submeter projetos relacionados ao tema.

Já em abril do ano seguinte, a ANEEL publicou uma Resolução Normativa, enumerada 482/2012, buscando estabelecer as condições gerais para acesso de microgeração e minigeração² distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, fornecendo providências relacionadas ao tema. A partir da data de publicação da Resolução Normativa, 17/04/2012, as concessionárias possuíam 240 dias para elaborar ou revisar normas técnicas que englobem, em sua totalidade, a microgeração e a minigeração distribuída.

1.1.1.1. Delimitação do tema

Este trabalho se dedicará ao estudo das normas técnicas editadas pelas concessionárias para micro e mini geração distribuída, conectadas à rede de energia, observando pontos críticos, principais características, fatores e limitações tecnológicas. Como consequência deste estudo inicial, será pesquisado sobre as condições necessárias para conexão de SFVCR com *backup* de energia em países que já utilizam esta tecnologia, propondo possíveis melhorias nas normas atuais e uma proposta considerando os parâmetros necessários para conexão de SFVCR com *backup* de energia.

² A microgeração trata de centrais geradoras cuja potência instalada é menor ou igual a 100 kW. Já a minigeração engloba centrais geradoras com potência instalada entre 100 kW e 1 MW. (ANEEL, 2012)

1.2. PROBLEMA E PREMISSAS

Partindo da premissa que o Brasil está buscando aumentar a participação dos SFVCR, vide Chamada Nº013/2011, Resolução Normativa Nº482/2012 e Resolução Normativa Nº517/2012, há chance do país se deparar com alguns problemas.

As recém-criadas normas por parte das concessionárias de energia elétrica podem conter falhas em seu conteúdo. Faz-se necessária o estudo das mesmas visando comprovar que englobam, em sua totalidade, a micro e minigeração distribuída.

Além de falta de padronização, outro problema é a não abrangência, por parte das normas, da conexão à rede dos sistemas fotovoltaicos com *backup* de energia. Através do estudo de normas já adotadas internacionalmente para esta modalidade de conexão, será feita uma proposta de normalização com o intuito de preparar o sistema elétrico nacional a esta tecnologia.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo Geral

Estudar os critérios necessários para conexão de SFVCR no Brasil e na Europa, propondo os critérios necessários para conexão de SFVCR com *backup* de energia, tendo como base normas em vigência no cenário internacional.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Agrupar e comparar as condições propostas para o acesso de microgeração e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica pelas principais concessionárias de energia do Brasil;

- Agrupar e comparar as condições para o acesso de microgeração e minigeração, na Europa, através de SFVCR – com e sem *backup* de energia;
- Estudar se as condições propostas pelas concessionárias brasileiras estão dentro dos critérios aplicados internacionalmente;
- Propor novas condições para as propostas das concessionárias que estejam, de alguma maneira, incompletas ou com potencial de melhoria, caso sejam necessárias;
- Propor os critérios necessários para a aplicação de SFVCR com *backup* de energia no Brasil.

1.4. JUSTIFICATIVA

A busca, estudo e comparação das condições propostas pelas concessionárias de energia adicionadas ao estudo do que é praticado no cenário internacional para geração de energia elétrica a partir de células fotovoltaicas com sugestão do que pode ser melhorado para a situação do Brasil, caracteriza um trabalho inovador, dado que essas informações foram, oficialmente, disponibilizadas até dezembro de 2012, e possibilitará uma melhor percepção do cenário técnico e econômico, tanto nacional quanto internacional, dos SFVCR.

Tal mapeamento permitirá apontar falhas e/ou lacunas presentes nas normas criadas pelas concessionárias de forma a garantir o acesso da micro e minigeração. Além disso, será possível propor condições e sugestões para estabelecer os critérios necessários para conexão de SFVCR com *backup* de energia.

O estabelecimento da micro e da minigeração distribuídas traz inúmeros benefícios para o país, como a pulverização de investimentos em geração de energia e a movimentação de economias locais. Ao mesmo tempo, ao gerar a eletricidade no mesmo local em que ela vai ser consumida, aumenta-se a eficiência energética e reduzem-se as perdas com transmissão e distribuição.

1.5. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa será embasada em documentos governamentais, normas de agências e concessionárias do setor elétrico, trabalhos de conclusão de curso (dissertações e teses) e minoritariamente em livros, devido a frequentes mudanças na legislação e nas tecnologias envolvidas.

A partir da obtenção dos dados eletivos ao trabalho proposto e analisando-os sob a ótica dos objetivos, será realizado um comparativo entre as normas técnicas apresentadas pelas concessionárias de distribuição de energia elétrica. A equipe pretende ainda levantar a regulamentação vigente no país com maior capacidade fotovoltaica instalada e que já abrange os SFVCR com *backup* de energia.

Pretende-se estudar os critérios necessários à conexão dos sistemas fotovoltaicos à rede, levando em consideração pontos comuns e divergentes entre as concessionárias atuantes do país. Por fim, este trabalho apresentará proposta para a abrangência, por parte da regulamentação nacional, dos SFVCR com *backup* de energia.

1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO

Respeitando os padrões da metodologia de pesquisa, o Capítulo 1 tem função introdutória ao estudo. Neste capítulo o tema central é devidamente definido e contextualizado, justificando-se quais os problemas da pesquisa e a necessidade de resolução dos mesmos. Além disto, define-se a linha geral de pesquisa a ser adotada para atingir os objetivos propostos.

O Capítulo 2 traz a Revisão Bibliográfica. Destaca-se a crescente demanda por energia elétrica e a preocupação ambiental como justificativa para utilização de fontes renováveis de energia. Dentre estas fontes, apresenta-se a geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos, suas vantagens e seu panorama no cenário nacional e internacional. Por fim, são apresentados os esforços realizados no Brasil para incentivar a fonte energética em questão.

No Capítulo 3 são reunidos os critérios adotados pelas concessionárias em resposta a Resolução Normativa Nº 482/2012. Através da exposição e posterior

comparação destes critérios, observam-se pontos críticos, principais características, fatores e limitações tecnológicas.

O Capítulo 4 mostra os critérios utilizados para a conexão de SFVCR à rede no país, a ser pesquisado, com maior potência fotovoltaica instalada. Além da comparação destes dados com os dados vigentes no cenário nacional, destaca-se a já existente regulamentação, no exterior, para sistemas fotovoltaicos conectados à rede com *backup* de energia. Sendo assim, ao fim do Capítulo 4, será realizada uma proposição para a inclusão dessa modalidade de conexão na normatização brasileira.

As considerações finais do trabalho e proposta para trabalhos futuros são apresentadas no Capítulo 5. Seguem-se, sequencialmente, as referências bibliográficas utilizadas e a documentação gerada – os APÊNDICES – a partir deste estudo. Finalizando este registro, aparecem os anexos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. CENÁRIO ENERGÉTICO

As necessidades energéticas do homem estão em constante evolução. Com o passar do tempo, a otimização das tarefas e o aumento do nível de conforto demandam novas formas de obtenção de energia em suas mais variadas formas (FARIAS e SELITTO, 2011).

2.1.1. Histórico

Até o advento da Revolução Industrial, no século XVIII, as fontes primárias de energia mais utilizadas eram a madeira e a tração animal – suficientes para os meios de produção artesanais da época (REIS e SILVEIRA, 2001).

A Revolução Industrial é caracterizada por grandes mudanças, de ordem econômica, social e tecnológica. No campo tecnológico, a criação de máquinas permitiu a industrialização do setor têxtil. As máquinas de fiar, os teares hidráulicos, os teares mecânico e, por fim, a descoberta do vapor gerado a partir da queima do carvão mineral como força motriz nas máquinas a vapor causou aumento na produção e, principalmente, na geração de capitais – os quais eram replicados em novas máquinas. O vapor impulsionou também a expansão dos meios de transporte (barco e locomotiva a vapor) e a impressão de jornais, revistas e livros. Nota-se então para este período o crescente uso do carvão mineral como fonte primária de energia (VICENTINO, 2002).

Segundo Vicentino (2002), já no século XIX, por volta de 1860, a Revolução Industrial assumiu novas características, iniciando uma nova fase – denominada de Segunda Revolução Industrial. Esta nova etapa pode ser descrita por três invenções listadas a seguir:

- O processo Bessemer de transformação de ferro em aço, que permitiu a sua produção em grande escala;
- O dínamo, que possibilitou a substituição do vapor pela eletricidade como força motriz das maquinofaturas;

- O motor a combustão interna, que introduziu o uso do petróleo;

A busca pela diversificação e a intensificação do desenvolvimento tecnológico, aliadas à maior potência e eficiência dessas fontes de energia, consolidaram o uso da eletricidade e do petróleo (VICENTINO, 2002).

O crescente uso do petróleo é particularmente significativo após 1950. No ano de 1961, o petróleo passa a ser a principal fonte de energia primária no mundo, ultrapassando a utilização do carvão mineral. O combustível em questão tornou-se indispensável ao cotidiano humano e seu desenvolvimento. Entretanto, as crises do petróleo ao longo da década de 70, causadas por conflitos no Oriente Médio (detentor das maiores reservas da fonte) e diferenças na relação oferta/demanda, desencadearam uma reconsideração na política internacional relacionada a este produto. Por outro lado, a eletricidade, por sua facilidade de transporte e conversão direta para em qualquer outro tipo de energia, teve sua utilização aumentada, de modo que países industrializados duplicam seu consumo de energia elétrica a cada dez anos (FARIAS e SELITTO, 2011).

A Figura 6 mostra a evolução do uso das principais fontes primárias de energia até meados da década de 1980.

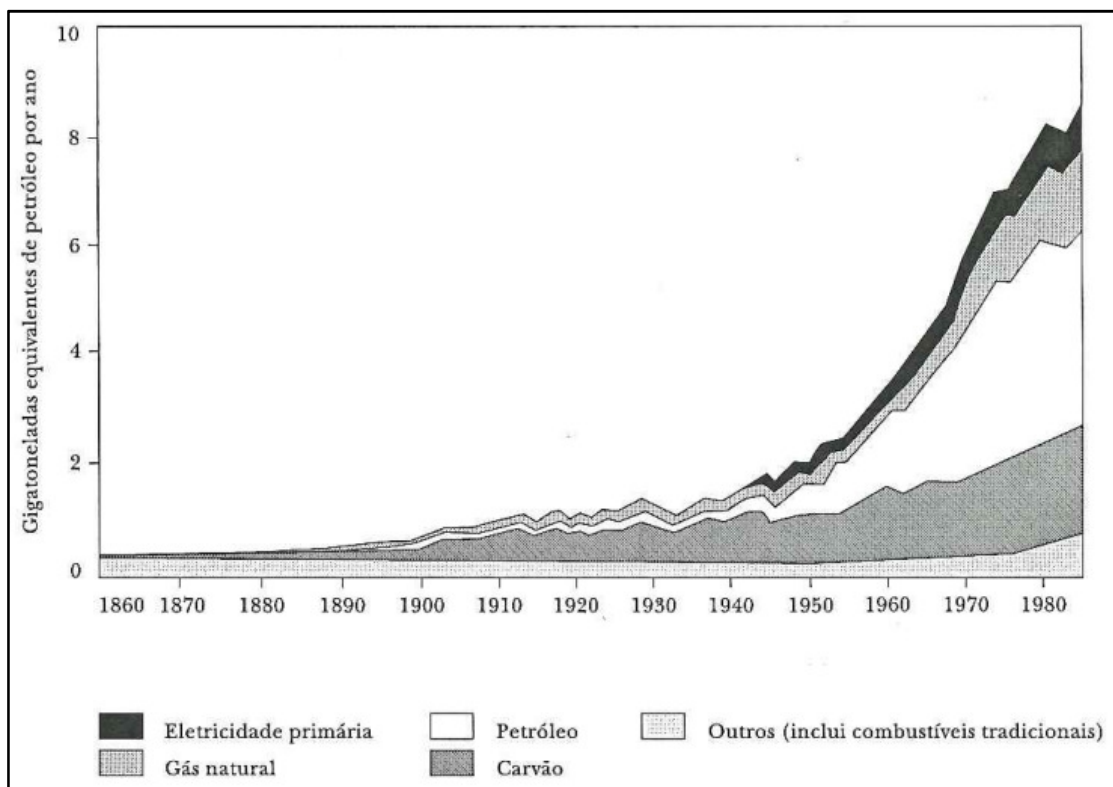


Figura 6: Evolução do uso de fontes primárias de energia (Gtep/ano)
 Fonte: Reis e Silveira, 2001

2.1.2. Cenário Atual

Na organização mundial atual, a energia é considerada um elemento básico para a integração do ser humano ao desenvolvimento. O atual período é caracterizado pelo aumento na demanda de energia por parte dos países em desenvolvimento e a manutenção do suprimento para os países já desenvolvidos (REIS e SILVEIRA, 2001).

Entre todas as formas de energia, a eletricidade é a que melhor se insere e se adapta na vida moderna. É a fonte mais nobre e mais versátil, estando presente em todos os usos energéticos finais dos consumidores (FILHO, 2013).

Em 2012, a geração global de eletricidade atingiu 22522,32 TWh, apresentando um crescimento de 3% em relação ao ano anterior (BP, 2013). Deste suprimento global, as fontes renováveis de energia são responsáveis por cerca 21,7% do total (REN, 2013). Já no Brasil, no ano de 2012, o consumo de energia elétrica foi de 498,4 TWh – valor 3,8% maior que o encontrado em 2011. Este crescimento foi suprido principalmente pelo crescimento da capacidade instalada nas gerações de energia elétrica a partir da energia eólica e solar, as quais, somadas, cresceram 32,8% em relação ao ano de 2011 (EPE, 2013).

A Figura 7 mostra a matriz elétrica brasileira para o ano de 2012.

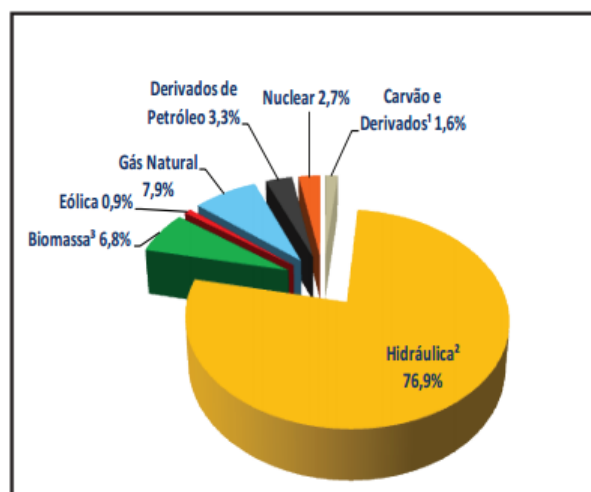


Figura 5: Matriz elétrica brasileira
Fonte: EPE, 2013

Tanto mundialmente, como localmente, notou-se um crescimento da participação de fontes renováveis de energia elétrica, tais como a solar e fotovoltaica. Segundo Tiepolo e Canciglieri (2012), existe nos países desenvolvidos

uma tendência quanto a utilização de energias ditas como “fontes limpas de energia”, renováveis e com baixo impacto ao meio ambiente.

2.1.3. Cenário Futuro

O crescimento populacional e econômico são fatores chave por trás da crescente demanda de energia. Até 2040, a população mundial estará próxima a nove bilhões de pessoas (*EXXONMOBIL CORPORATION*, 2013). No campo econômico, o aumento da renda per capita deve gerar melhoria na qualidade de vida e maior poder de compra da população, mas também um maior consumo de fontes energéticas em geral, em especial a elétrica (*TIEPOLO e CANGIOLIERI*, 2012).

Dado que o crescimento populacional e o crescimento econômico são inevitáveis, é visto como de fundamental importância, para garantir o abastecimento contínuo de energia à sociedade, que o aumento pela demanda por energia elétrica seja suprido de forma sustentável: com maior eficiência e menor uso de combustíveis fósseis. Desta forma, espera-se consolidar o desenvolvimento sustentável aplicado ao setor energético (*FAPESP*, 2007).

2.2. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Os valores que sustentam o modelo de desenvolvimento da sociedade, desde a Revolução Industrial, dão exagerada ênfase ao crescimento econômico, implicando na exploração descontrolada dos recursos naturais, uso de tecnologias de larga escala e consumo desenfreado. Estes valores têm gerado, no decorrer da história, desastres ecológicos, disparidades e desintegração social, falta de perspectivas futuras e marginalização de regiões e indivíduos, guerras localizadas e violência urbana (*REIS e SILVEIRA*, 2001).

Na tentativa de minimizar tais efeitos negativos, surgiu o paradigma do desenvolvimento sustentável. Basicamente este paradigma sugere profundas mudanças nos sistemas de produção, na organização da sociedade humana e na utilização de recursos naturais à vida humana e a outros seres vivos (*REIS e SILVEIRA*, 2001).

2.2.1. Histórico

As já citadas mudanças ocorridas a partir da Primeira Revolução Industrial permitiram uma maior interferência do homem sobre os recursos naturais. Isto aumentou sensivelmente a utilização de recursos naturais *per capita* e a degradação ambiental - consequência de resíduos e efluentes dos processos de produção. Gerou-se então, na época, uma visão de que só haveria desenvolvimento em detrimento da qualidade ambiental. Contrário a esta lógica, surgiu, sem sucesso, o movimento conservacionista (OLIVEIRA, 2008).

A partir da Segunda Guerra Mundial, houve uma reorganização da economia e dos parques industriais das grandes potências. Aumentam-se novamente os padrões de consumo material, trazendo uma série de consequências ambientais, como cita Oliveira (2008, p.18): “No campo, espécies estavam sendo extintas com a expansão das propriedades agrícolas e a revolução verde, que levava ao uso intensivo de fertilizantes e pesticidas”.

Já na década de 1960, em um período denominado de Era Pós-Industrial, no qual se percebeu uma menor dependência do setor industrial e maior no setor de serviços, os movimentos ambientalistas começam a se organizar e espalharam-se, questionando os impactos desta sociedade moderna. Nesta época, este ambientalismo, ainda muito ligado aos movimentos estudantis e hippies, procurou chamar atenção para as consequências devastadoras que o desenvolvimento sem limites, praticado na época, causaria (OLIVEIRA, 2008).

Na década de 1970, o movimento ambientalista proliferou-se e viu o conceito de desenvolvimento sustentável começar a se delinear para, além de buscar uma solução para os problemas ambientais, garantir o desenvolvimento tecnológico e econômico (GOLDSTEIN, 2007). A proposta por um novo modelo de desenvolvimento surgiu na Conferência de Estocolmo (1972), a primeira de uma série de conferências internacionais. Segue resumo dos principais movimentos globais e quais os resultados atingidos.

2.2.1.1. Conferência de Estocolmo (1972)

Organizada pela Organização das Nações Unidas – ONU, em conjunto com Estados e a comunidade científica, a Conferência de Estocolmo ficou conhecida como Primeira Conferência Mundial sobre o Homem e o Meio Ambiente. Ela foi basicamente a primeira grande reunião organizada para concentrar-se nas questões ambientais e a primeira atitude mundial com o intuito de preservar o meio ambiente (RIBEIRO, 2010).

A Conferência de Estocolmo foi marcada pelo confronto de idéias entre países desenvolvidos e em desenvolvimento. Os países desenvolvidos preocupavam-se com os efeitos da devastação ambiental sobre a Terra, considerando a idéia de uma medida preventiva imediata. Por sua vez, os países em desenvolvimento, por estarem desolados pela miséria, propuseram um modelo de desenvolvimento econômico rápido e sem qualquer consciência ambiental (LAGO, 2007).

Como resultado da conferência, assinou-se a Declaração das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente, também conhecida como Declaração de Estocolmo. Nesta declaração foram estabelecidas normas que serviriam como referência para guiar as ações humanas sobre o meio-ambiente (LAGO, 2007).

2.2.1.2. Relatório Brundtland (1987)

Os questionamentos ambientais, formalizados a partir da Conferência de Estocolmo, levaram a ONU a criar, no início da década de 1980, uma Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento para elaborar estudos sobre o tema. Estes estudos culminaram com a publicação de um relatório, denominado Nosso Futuro Comum (ou Relatório Brundtland), contendo a primeira definição de um novo modelo de desenvolvimento – o desenvolvimento sustentável: “O desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que encontra as necessidades atuais sem comprometer a habilidade das futuras gerações de atender suas próprias necessidades” (ONU, 1987).

Além desta conceituação, foram feitas diversas recomendações de cunho socioeconômico e ambiental, colocando o tema diretamente na agenda pública mundial da época, de uma maneira nunca antes feita (OLIVEIRA, 2008).

2.2.1.3. Rio 92 (1992)

A Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente, também conhecida como Rio-92, Eco-92 ou Cúpula da Terra, buscava diminuir a degradação ambiental e a garantir a existência de gerações futuras, além de buscar consolidar o conceito de desenvolvimento sustentável, definida anos antes pelo Relatório Brundtland (LAGO, 2007).

Diferentemente da Conferência de Estocolmo (1972), esta Conferência contou com a presença maciça de chefes de Estado, os quais foram mais receptivos a ideia de que os danos causados ao meio ambiente eram majoritariamente de responsabilidade dos países desenvolvidos, e que estes deveriam fornecer apoio tecnológico e financeiro para que países em desenvolvimento avançassem rumo à sustentabilidade (LAGO, 2007).

Por fim, os debates culminaram na elaboração de diversos documentos oficiais com diversos pontos, entre eles: agenda ambiental para as décadas seguintes, princípios éticos visando a sustentabilidade, redução nas emissões de CO₂ e os já citados repasses financeiros de países ricos para programas ambientais (LAGO, 2007).

2.2.1.4. Protocolo de Kyoto (1997)

Como resultado da Rio 92, ocorrida 5 anos antes, o documento foi redigido na cidade de Kyoto (no Japão), em 1997, criando diretrizes para amenizar problemas ambientais dos impactos ecológicos dos modelos de desenvolvimento econômico vigentes. A principal diretriz tratava da redução da emissão de gases causadores do efeito estufa, por parte dos países desenvolvidos, em pelo menos 5% no período entre os anos 2008 e 2012 – redução que deveria ser medida tomando como base as emissões no ano de 1990 (GOLDSTEIN, 2007).

O protocolo foi o primeiro, e único até hoje, conjunto de metas de redução de gases responsáveis pelo efeito estufa adotado mundialmente. Entretanto, os Estados Unidos nunca assinaram o acordo e a China é desobrigada de cumpri-lo por fazer parte dos países emergentes. Ambas as nações são responsáveis por 40% da emissão de gases causadores do efeito estufa (SALATIEL, 2012).

A validade do protocolo venceria no fim do ano de 2012, sem que outro acordo semelhante o substituísse. Por isso, em conferência da ONU sobre mudanças climáticas (COP 18), realizada em Doha, no Catar, decidiu-se por prorrogar a validade do protocolo de Kyoto até o ano de 2020. Ainda assim, o protocolo saiu mais enfraquecido do que nunca, visto que atualmente apenas 37 países o apoiam, os quais são responsáveis por apenas 15% do total das emissões de gás carbônico (SALATIEL, 2012).

2.2.1.5. Rio+10 (2002)

Em 2002, houve em Johannesburgo, África do Sul, a conferência chamada de Cúpula Global ou Rio+10. Seu principal objetivo era rever os documentos assinados 10 anos antes, na conferência Rio 92, avaliando o andamento dos planos de ação. Todavia, chegou-se a conclusão de que a situação se agravou desde a última conferência (OLIVEIRA, 2008).

As discussões nesta conferência não se restringiram apenas à preservação do meio ambiente, englobaram também aspectos sociais. A pobreza, o fornecimento de água, saneamento básico, energia, saúde e agricultura foram colocados na agenda global de desenvolvimento sustentável (OLIVEIRA, 2008).

Os resultados da Rio+10 não foram muito significativos. Os países desenvolvidos não cancelaram as dívidas das nações mais pobres e não assinaram o acordo que previa o uso, na matriz energética, de 10% de fontes energéticas renováveis (eólica, solar, etc.). Um dos poucos resultados positivos foi referente ao abastecimento de água - meta de reduzir pela metade o número de pessoas que não têm acesso a água potável e a saneamento básico até 2015.

2.2.1.6. Rio+20 (2012)

No vigésimo aniversário do Rio 92, foi realizada no Rio de Janeiro, em 2012, uma nova conferência sobre desenvolvimento sustentável, a Rio+20. O objetivo da conferência foi fazer um balanço do que se conseguiu realizar nos últimos 20 anos na direção de um desenvolvimento sustentável e, eventualmente, propor novos caminhos e ações (GOLDEMBERG, 2012).

O documento final, chamado de “O Futuro que Queremos”, apontou a pobreza como o maior desafio para que os países atinjam a excelência nos pilares econômico, social e ambiental. Os 188 Estados-Membros se comprometeram a investir US\$ 513 bilhões em projetos, parcerias, programas e ações nos próximos 10 anos nas áreas de transporte, energia, economia verde, redução de desastres e proteção ambiental, desertificação, mudanças climáticas, entre outros assuntos, todos relacionados à sustentabilidade (GOLDEMBERG, 2012).

2.2.2. Definição Atual

O desenvolvimento sustentável evoluiu consideravelmente em complexidade, no sentido de englobar mais os pilares econômico e social, além de outros fatores que vão além da preocupação ambiental, a qual foi bastante debatida desde o relatório de 1987, intitulado “Nosso Futuro Comum”. Atualmente, seu conceito embute a ideia de que o mesmo tem de ocorrer nas esferas ambiental, econômica e social, existindo também a dimensão política, que seria a transparência e participação (OLIVEIRA, 2008).

2.2.2.1. Sustentabilidade ambiental

A sustentabilidade ambiental consiste na manutenção das funções e componentes do ecossistema, de modo sustentável, podendo igualmente designar-se como a capacidade que o ambiente natural tem de manter as condições de vida para as pessoas e para outras espécies e a qualidade de vida para as pessoas,

tendo em conta a habitabilidade, a beleza do ambiente e a sua função como fonte de energias renováveis (MENDES, 2009).

2.2.2.2. Sustentabilidade econômica

A sustentabilidade econômica, enquadrada no âmbito do desenvolvimento sustentável é um conjunto de medidas e políticas que visam incorporar preocupações e conceitos ambientais e sociais. Aos conceitos tradicionais de mais valias econômicas são adicionados os parâmetros ambientais e sócio-econômicos, como distribuição de renda e desenvolvimento de potencialidades locais, criando uma interligação entre os vários setores. Assim, o lucro não é somente medido na sua vertente financeira, mas igualmente na vertente ambiental e social, o que potencializa um uso mais correto das matérias primas e como dos recursos humanos (MENDES, 2009).

2.2.2.3. Sustentabilidade sócio-política

A dimensão social do desenvolvimento sustentável busca garantir que todas as pessoas tenham iguais condições de acesso a bens e serviços que garantam uma vida digna, construindo uma sociedade na qual exista maior igualdade na distribuição de renda e melhores condições para grande parte da população (MENDES, 2009).

Neste contexto, destaca-se a dimensão política do desenvolvimento sustentável. Segundo Mendes (2009, p. 56), a perseguição por esse novo modelo de desenvolvimento exige um Estado ativo e facilitador, o qual deve adequar estratégias e políticas em prol do bem comum.

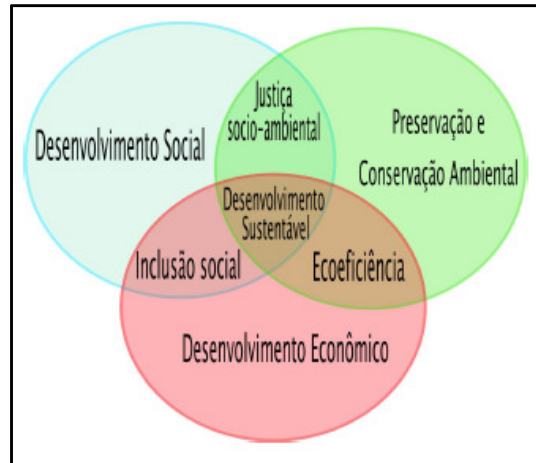


Figura 6: Esferas do Desenvolvimento Sustentável
Fonte: Mendes, 2009

2.2.3. Desenvolvimento Sustentável e Energia Elétrica

A importância da energia elétrica no contexto global e a tendência de aumento dessa participação no consumo energético futuro mostram que é fundamental a participação do setor elétrico em qualquer estratégia voltada ao desenvolvimento sustentável da humanidade (REIS e SILVEIRA, 2001).

Com o intuito de satisfazer esse novo paradigma de desenvolvimento e tornar o setor elétrico sustentável em todos os aspectos, o incremento de tecnologias para diminuir o impacto ambiental negativo de usinas baseadas na queima de combustíveis fósseis, a garantia de abastecimento ininterrupto, a universalização do acesso à eletricidade e o incentivo ao uso das fontes primárias renováveis, como solar e eólica, devem ser levados em consideração. Entretanto mudanças tecnológicas não são suficientes. São necessárias também políticas públicas, já implantadas em alguns lugares do mundo, para tentar redirecionar as escolhas tecnológicas e os investimentos no setor, tanto no suprimento, quanto na demanda, bem como a conscientização e o comportamento dos consumidores (REIS e SILVEIRA, 2001).

2.3. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

A geração distribuída, também conhecida como “descentralizada”, caracteriza-se como a produção de eletricidade próxima ao consumo, dispensando a linha de transmissão e os complexos sistemas de distribuição para atender ao consumidor final (COSTA, 2012).

Por várias razões, é um tema com crescente destaque no setor elétrico. Dentre estas razões, destacam-se as que estão relacionadas com as esferas do desenvolvimento sustentável. O aumento da eficiência energética como resultado da redução de perdas técnicas na cadeia de geração, transmissão e distribuições, o aumento das exigências ambientais no controle e diminuições de poluentes e a universalização do sistema elétrico, permitindo o acesso à eletricidade por parte de comunidades isoladas, fazem com que o interesse em conectar a geração diretamente à rede de distribuição seja cada vez maior (LORA e HADDAD, 2006).

Independente da potência, tecnologia e fonte de energia, a GD, segundo Tiepolo et al. (2012), já é uma realidade em países da Europa como Espanha, Itália e Alemanha, onde os consumidores acabam por gerar parte ou toda energia necessária para suprir suas necessidades diárias, sendo que a energia excedente pode ser entregue ao sistema elétrico, graças às políticas públicas implantadas no setor.

Seguindo esta tendência internacional, o investimento na geração distribuída torna-se uma tendência e uma aliada para o desenvolvimento regional, social e ambiental no Brasil. Desta forma, se faz necessário para o país a regulamentação e o incentivo a esta alternativa de geração (TIEPOLO et al., 2013).

2.4. FONTES DE ENERGIA ELÉTRICA

Nesta seção, destacam-se as principais fontes de energia utilizadas para a geração de energia elétrica.

2.4.1. Geração Termoelétrica

Para a geração de energia elétrica através das usinas termoelétricas, utiliza-se como matéria prima, para a queima, os derivados do petróleo, gás natural, carvão mineral e o gás gerado pela biomassa (TIEPOLO et al., 2012).

Petróleo, gás natural e carvão mineral, chamados de combustíveis fósseis, compõem a maior parte da matriz elétrica mundial (68%). Destaca-se aqui o elevado consumo de países como Estados Unidos, China e Índia (IEA, 2013).

Dada a sua ampla utilização e a conseqüente quantidade de poluentes gerada na queima, principalmente quando da utilização de combustíveis fósseis, são previstas reduções para este tipo de geração ao longo do tempo (TIEPOLO et al., 2012). As emissões de CO₂ relacionadas à energia global, especialmente à energia elétrica, serão estabilizadas por volta de 2030 e permanecerão inalteradas até 2040 (EXXONMOBIL CORPORATION, 2013).

Frente as tendências da utilização de combustíveis com teor de carbono reduzido, a biomassa tem se tornado uma fonte a ser considerada na geração elétrica. No ano de 2012, a capacidade de geração de eletricidade a partir da biomassa atingiu 83 GWh, um crescimento de 12% em relação ao ano anterior, e 350 TWh de energia elétrica foram gerados durante o ano (REN21, 2013). No Brasil, apenas recentemente vem se considerando a energia elétrica através da queima de resíduos (BARTHOLOMEU e CAIXETA-FILHO, 2011).

2.4.2. Geração Nuclear

O processo através do qual é gerada energia nestas centrais baseia-se no choque dos nêutrons contra o núcleo do átomo de urânio, o qual se divide mais ou menos ao meio e então libera energia na forma de calor. Este calor é utilizado para aquecer água, transformando-a em vapor. Este vapor irá mover turbinas que irão, por fim gerar energia elétrica (ENERGIAS E ALTERNATIVAS, 2013).

Embora seja considerada por muitos como uma energia limpa, já que além de produzir eletricidade com baixa emissão de carbono, seus resíduos podem ser posteriormente reciclados e utilizados em outras centrais nucleares, algumas questões referentes a esta forma de energia são colocadas em xeque: a segurança

das instalações, a proliferação desta tecnologia, que pode ser usada para fins não pacíficos, e o risco de acidentes, como o vazamento de radioatividade nas usinas de Chernobyl, em 1986, e de Fukushima, em 2011. Depois deste último acidente, países como Alemanha, Suíça e Japão anunciaram que progressivamente vão eliminar seus programas nucleares (GAVRONSKI, 2007; IEA, 2013).

Apesar destes questionamentos, é importante observar que se trata de uma tecnologia já consagrada e presente no planejamento energético de países como Estados Unidos, China, Rússia e Reino Unido (IEA, 2013). Em 2011, a geração de eletricidade por fonte nuclear atingiu 11,7% da matriz elétrica mundial (IEA, 2013).

2.4.3. Geração Hidroelétrica

Embora considerada uma das fontes de mais baixo custo, a geração de energia a partir de usinas hidroelétricas é responsável por impactos ambientais consideráveis, devido à necessidade da formação de grandes reservatórios de água para movimentar a turbina (URBANETZ, 2010).

Mundialmente, a geração hidráulica foi responsável por 3700 TWh de eletricidade durante o ano de 2012, número que representa 16,5% da matriz elétrica mundial (REN, 2013). A Figura 8 mostra os cinco países com maior capacidade hidroelétrica instalada.

No Brasil, as usinas hidroelétricas são responsáveis pela grande maioria da geração de eletricidade. De uma geração elétrica total de 592,8 TWh, foram gerados a partir de fonte hidráulica 455,6 TWh, ou seja, 76,9% da matriz elétrica nacional (EPE, 2013).

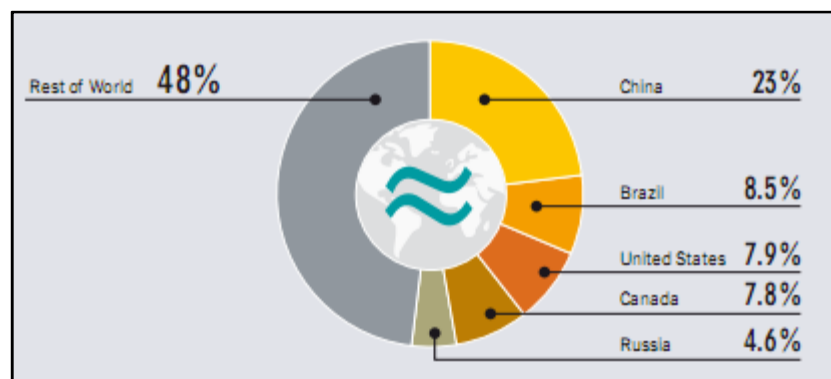


Figura 7: Capacidade hidroelétrica mundial instalada
 Fonte: REN, 2013

Como tendência, as pressões sociais e ambientais contrárias à construção de novas usinas devem se tornar cada vez maiores, fazendo com que o custo da geração hidráulica seja revisto, fortalecendo as demais fontes de energia (TIEPOLO et al., 2012).

2.4.4. Geração Eólica

Para que se possa converter vento em energia, instalam-se turbinas de vento num local onde a incidência de ventos seja relativamente constante. As pás da turbina são ligadas a uma caixa de transmissão, com engrenagens montadas de modo a aumentar a velocidade de giro. Estas por sua vez são ligadas a um gerador. Se o vento estiver soprando muito forte, a turbina tem uma trava que impede que as pás girem muito rapidamente e danificam-se. Para o caso de ausência de vento, outros tipos de fontes devem ser utilizadas para prover o sistema elétrico (ENERGIAS E ALTERNATIVAS, 2013).

Os investimentos em usinas eólicas estão se tornando uma opção cada vez mais atrativa (TIEPOLO et al., 2012). Os investimentos maciços nesta fonte de energia fizeram a capacidade instalada atingir números próximos a 283 GW (Figura 9), sendo que 45 GW foram instalados apenas no ano de 2012. Entre os países com maiores investimentos, destacam-se a China e os EUA com 75,3 GW e 60 GW de capacidade instalada respectivamente (REN21, 2013).

Segundo Urbanetz (2010), o potencial eólico a ser explorado no Brasil ainda é grande e está em franca expansão, graças às dimensões continentais que o país possui e a sua localização geográfica no globo, onde algumas áreas são muito favorecidas pelos ventos. Esta tendência é comprovada pelo aumento de 86,7% na geração de eletricidade a partir de fonte eólica no Brasil entre 2011 e 2012 – 2705 GWh para 5050 GWh (EPE, 2013).

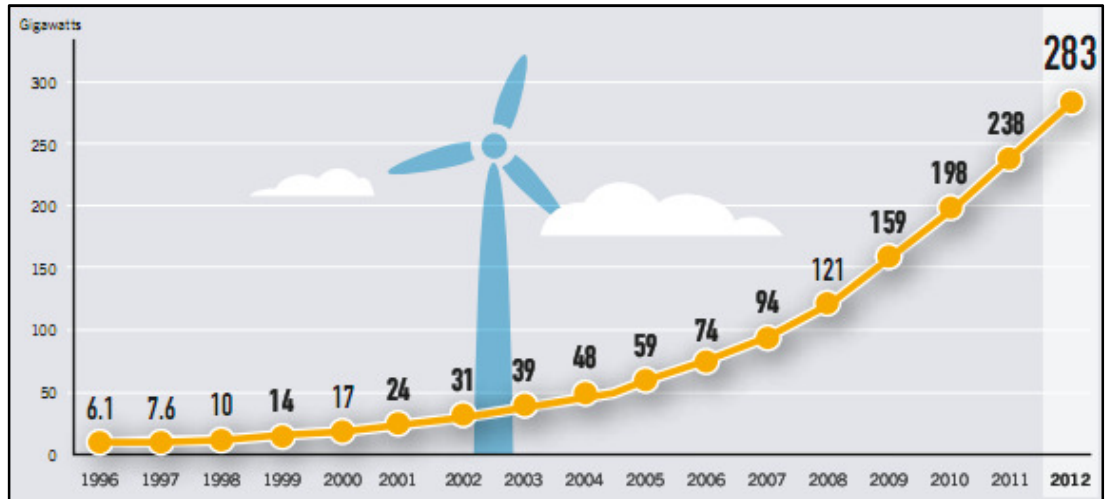


Figura 8: Evolução da capacidade eólica instalada no mundo
Fonte: REN21, 2013

2.4.5. Geração Fotovoltaica

O elemento fundamental da geração fotovoltaica é a célula fotovoltaica (Figura 10), sendo responsável por converter diretamente a luz do sol em eletricidade – o chamado efeito fotovoltaico. Os principais materiais encontrados em células fotovoltaicas são: silício (Si) cristalino (c-Si), multicristalino (m-Si), amorfo (a-Si) e microcristalino (μ -Si); telúrio (Te); cádmio (Cd); cobre (Cu); índio (I); gálio (Ga); selênio (Se), entre outros (URBANETZ, 2010).

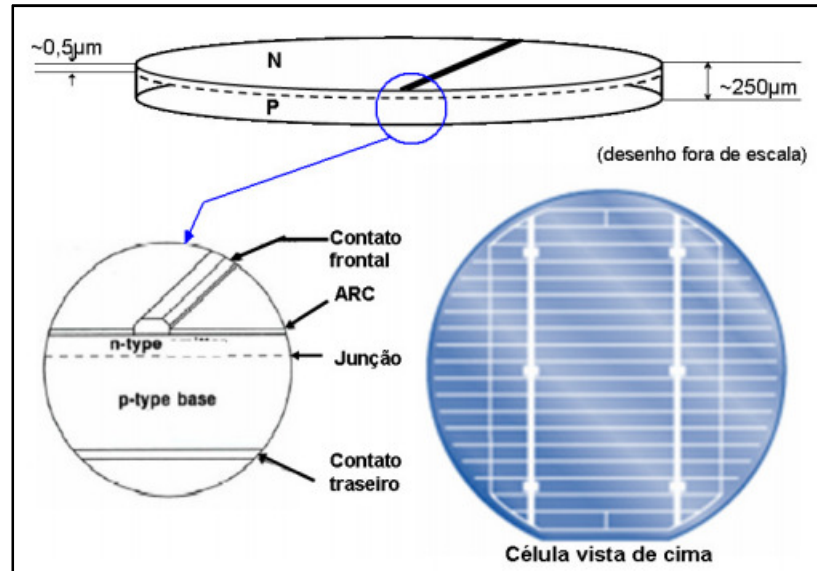


Figura 9: Ilustração da grade metálica em uma célula FV
Fonte: Urbanetz, 2010

Associadas eletricamente em módulos série/paralelo, estas células acabam por formar um módulo fotovoltaico. Por fim, para gerar a energia requerida pela carga, os módulos são associados formando os painéis fotovoltaicos (URBANETZ, 2010). A Figura 11 ilustra a célula, o módulo e o painel fotovoltaico.

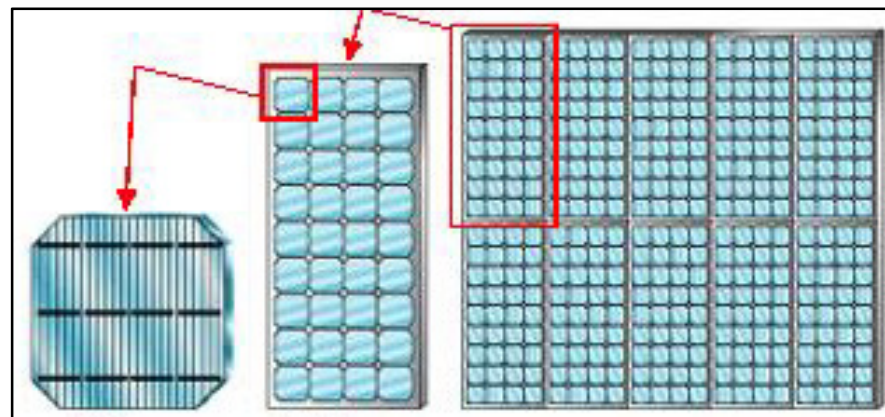


Figura 10: Célula, módulo e painel FV
Fonte: CRESESB, 2006

Os painéis fotovoltaicos, juntamente com outros equipamentos indispensáveis para a utilização segura da energia elétrica, formam os sistemas fotovoltaicos. Estes tratam de parte fundamental deste trabalho e serão detalhados a seguir.

2.5. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Os sistemas fotovoltaicos são um conjunto de equipamentos cuja finalidade é converter a energia radiante do Sol em energia elétrica e disponibilizá-la para uso instantâneo ou armazená-lo para uso posterior (BENEDITO, 2009). A seguir, serão descritos os diferentes tipos de aplicação dos sistemas fotovoltaicos, tanto em sistemas isolados quanto em sistema conectados à rede elétrica.

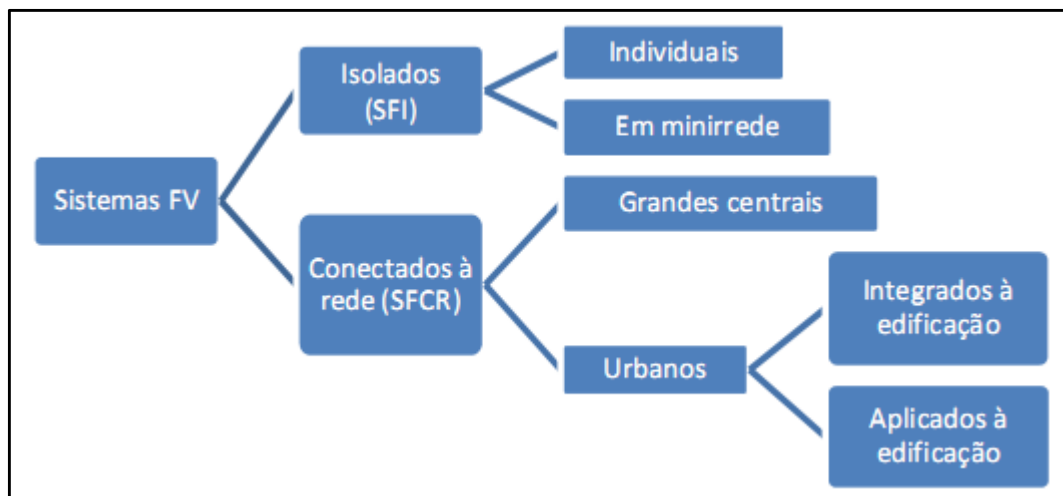


Figura 11: Tipos de sistemas fotovoltaicos
 Fonte: Urbanetz, 2010

2.5.1. Sistema Fotovoltaico Isolado (SFI)

Um sistema fotovoltaico isolado é basicamente composto de um painel fotovoltaico, um controlador de carga, um banco de baterias e um inversor, conforme Figura 13. Normalmente são instalados em locais sem acesso à rede elétrica convencional, mas podem também ser utilizados para atender cargas especiais de forma ininterrupta, independente da rede elétrica da concessionária (URBANETZ e CASAGRANDE, 2012).

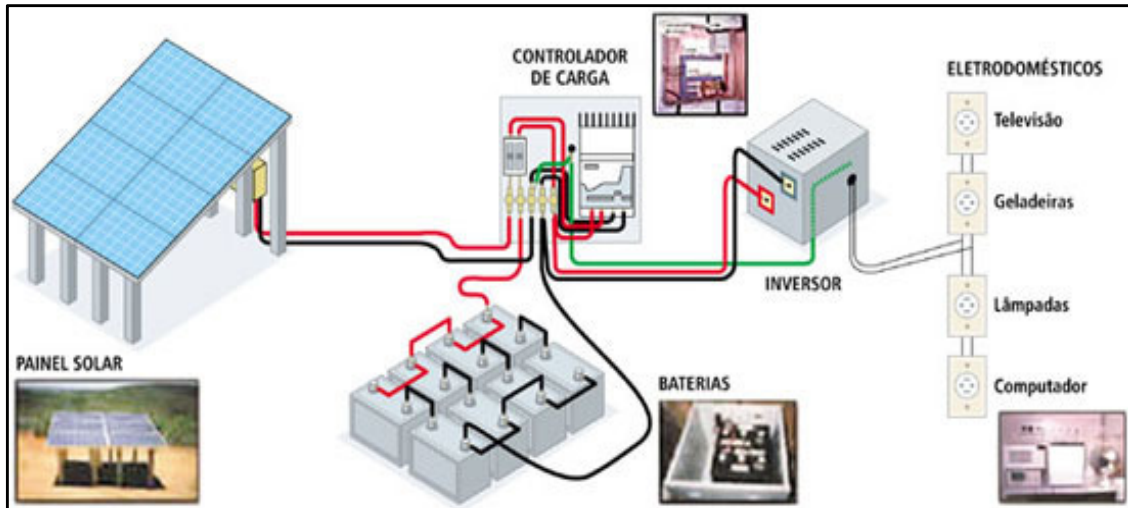


Figura 12: Sistema fotovoltaico isolado – SFVI
Fonte: ASTROREI, 2010

O armazenamento de energia elétrica em acumuladores (baterias) se faz necessário para poder utilizá-la na ausência de luz solar, visto que a única fonte de energia elétrica provém dos painéis fotovoltaicos. A utilização de baterias solicita uma série de cuidados especiais, listados a seguir, visando manter a vida útil das mesmas (CRESESB, 2006).

- tensão mínima: a tensão de cada bateria não deve ser inferior ao especificado pelo fabricante;
- tensão de flutuação: é a tensão para evitar a auto descarga;
- tensão de equalização ou de carga profunda: é a tensão aplicada a um banco de baterias para aproximar os níveis de tensão (equalizar) de cada bateria;
- tensão máxima: a tensão de cada bateria não deve exceder a tensão máxima especificada pelo fabricante;
- capacidade de corrente: é a quantidade em Ampères-hora [Ah] que pode ser retirada de uma bateria que apresenta carga plena.

O controle de todos estes parâmetros se dá através de um dispositivo denominado controlador de carga. O controlador de carga é um aparelho eletrônico destinado a controlar e monitorar a carga e/ou a descarga do banco de baterias (RÜTHER, 2004). A Figura 14 mostra um controlador de carga e um banco de baterias.

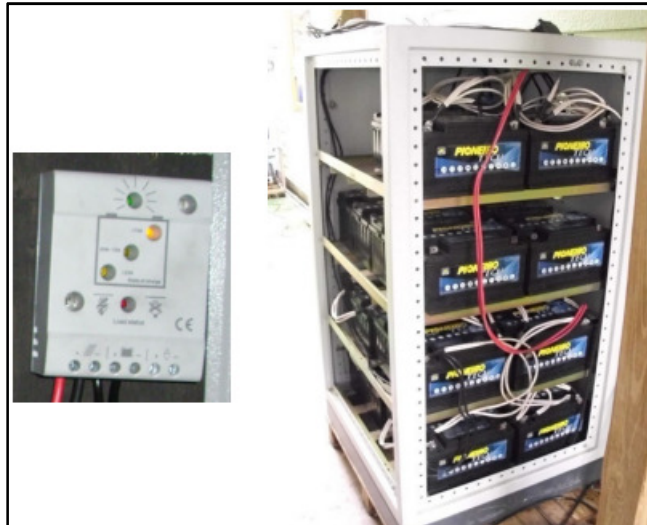


Figura 13: Controlador de carga e banco de baterias
Fonte: Urbanetz e Casagrande, 2012

Por fim, o inversor é o aparelho que converte a tensão contínua, proveniente do painel fotovoltaico ou do banco de baterias, em tensão alternada, com características adequadas para alimentar aparelhos elétricos e eletrodomésticos (RÜTHER, 2004).



Figura 14: Inversor para SFI
Fonte: STECA, 2011

2.5.2. Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFVCR)

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede, diferentemente dos SFI, não utilizam elementos para armazenar a energia elétrica. São compostos basicamente por um painel fotovoltaico e inversor. Os inversores, projetados especificamente para este tipo de SFV, devem incorporar funções necessárias para a conexão

segura com a rede - como os SFVCR são interligados em paralelo com a rede elétrica, é essencial que as duas ondas de tensão, gerada e da rede, estejam em fase e que as características destas sejam similares para possibilitar o paralelismo de geradores, utilizando a rede elétrica como referência de fase. Caso essa referência seja perdida este inversor deve ser desligado automaticamente, evitando assim o fenômeno ilhamento³ (URBANETZ, 2010). A Figura 16 ilustra o painel FV e o inversor de um SFVCR.



Figura 15: Painel FV e inversor de um SFVCR
Fonte: Urbanetz e Casagrande, 2012

Os SFVCRs podem, segundo Rüter (2004), ser classificados em dois tipos, de acordo com o modo em que são instalados.

2.5.2.1. Instalações junto ao consumidor

A potência gerada é consumida diretamente pelas cargas locais e o excedente é absorvido pela rede, disponibilizando-a para outros consumidores. Já quando o gerador solar produz menos energia do que a demanda necessária para suprir os consumidores locais, o déficit é suprido pela rede elétrica da concessionária (BENEDITO, 2009).

³ O fenômeno do ilhamento ocorre quando parte da rede elétrica é desconectada propositalmente ou acidentalmente do restante do sistema da concessionária, mas essa continua a ser energizada por um ou mais geradores distribuídos conectados a ela, formando um subsistema isolado (URBANETZ, 2010).

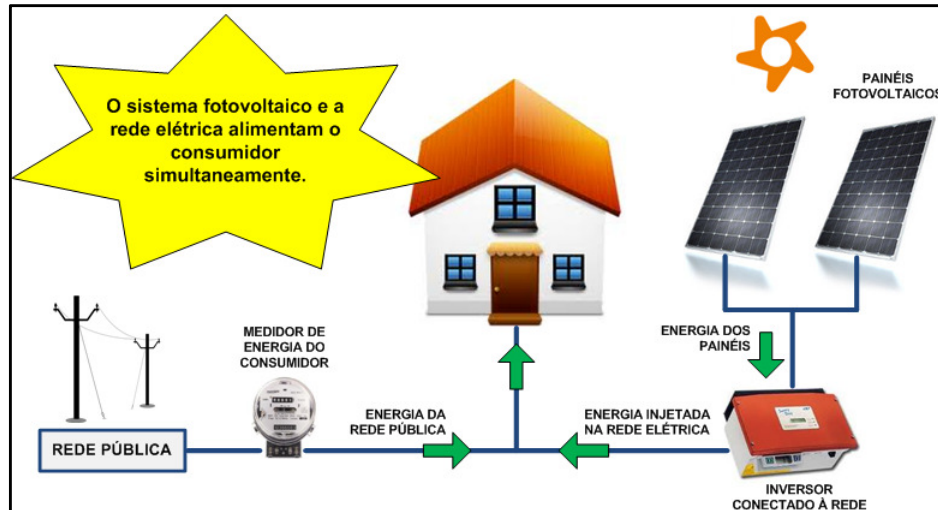


Figura 16: Constituição de um SFVCR instalado junto ao consumidor
Fonte: Energia do Sol, 2013

2.5.2.2. Instalações de grande porte

Funcionam como uma usina convencional, nas quais se têm potências maiores, centralizadas em locais afastados dos consumidores. Neste tipo de sistema a energia gerada é injetada diretamente na rede elétrica (BENEDITO, 2009). A Figura 18 mostra uma usina solar em Tauá, no Ceará, com potência instalada de 1 MWp.



Figura 17: Usina solar em Tauá/Ceará
Fonte: VEJA, 2011

2.5.3. Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede com *Backup* de Energia (SFVCR com *backup* de energia)

O sistema fotovoltaico conectado à rede com *backup* de energia é composto por um gerador fotovoltaico, um inversor e um banco de baterias como sistema de acumulação. Geralmente, é aplicado como *backup* para situações emergenciais e/ou em localidades onde o abastecimento de energia pela rede não apresenta boa qualidade como consequência da pouca capacidade da linha em relação ao consumo (BARBOSA et al., 2007).

A energia elétrica é proveniente do gerador fotovoltaico durante o dia e do banco de baterias à noite ou na hora de um maior consumo. Já a recarga da bateria pode ser via gerador fotovoltaico ou própria rede, nas horas de menor consumo (BARBOSA; SILVA; MELO, 2007).

A Figura 19 traz um diagrama de instalação de um SFVCR com *backup* de energia, baseado em produtos disponibilizados pelo fabricante SMA.

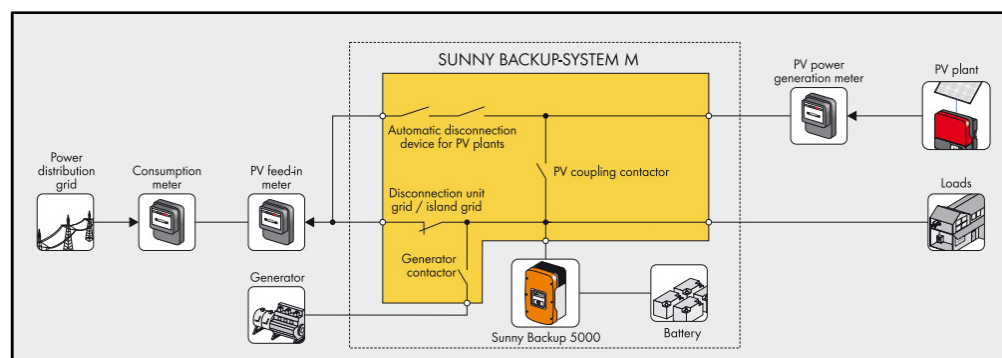


Figura 18: SFVCR com *backup* de energia
Fonte: SMA, 2012

Segundo a SMA (2012), a operação deste sistema consiste em desconectar da rede de distribuição de energia elétrica quando, por alguma falha, o fornecimento de energia elétrica está interrompido, evitando o fenômeno denominado ilhamento. Ainda conforme a SMA (2012), o SFVCR com *backup* de energia veio para suprir o instante em que não há geração elétrica através da energia solar e nem energia elétrica proveniente da rede, visto que este sistema, denominado “*Sunny Backup-System*”, através do inversor mostrado na Figura 20, altera a configuração do sistema fotovoltaico, tornando-o isolado.



Figura 19: Inversor para SFCVR com backup de energia
Fonte: SMA, 2012

2.5.2.2. Exemplo de operação

A Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, de modo a prospectar dados, possui em operação um SFVCR com a opção de armazenagem de energia em um banco de baterias. A Figura 21 traz a imagem deste sistema.



Figura 20: SFVR com *backup* de energia da UFPE
Fonte: Barbosa; Silva; Melo, 2007

Este sistema instalado na UFPE permitiu diminuir a carga aparente da rede nos momentos de maior consumo. Como consequência, a qualidade do abastecimento de energia elétrica pela rede melhora, afetando positivamente a economia do sistema. Já como aspectos negativos apresentou-se o maior custo com manutenção, em relação ao SFVCR, devido à utilização de baterias, e a geração de lixo tóxico com a troca do banco de baterias (BARBOSA; SILVA; MELO, 2007).

2.5.4. Panorama Mundial

A potência total gerada a partir de sistemas fotovoltaicos encontra-se em constante crescimento. Segundo o IEA (2013), a potência fotovoltaica instalada, ao fim do ano de 2012, chegou aos 96,5 GWp - 28,4 GWp instalados apenas no último ano. A Figura 22 mostra a evolução da capacidade instalada entre 1992 e 2012.

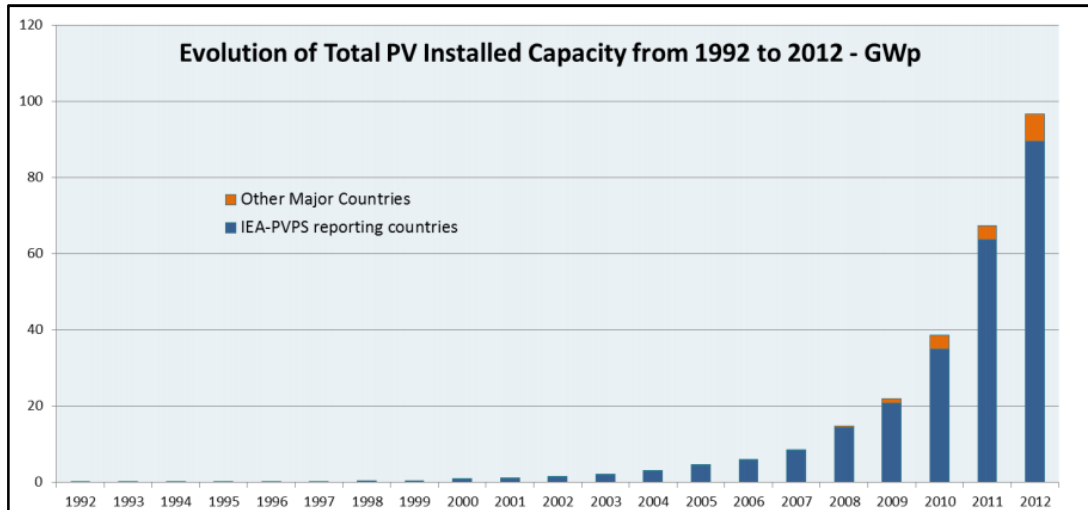


Figura 21: Evolução da capacidade FV instalada entre os anos de 1992 e 2012
Fonte: IEA, 2013

Também segundo o IEA (2013), a tecnologia fotovoltaica consolidou-se como um ator relevante no cenário elétrico mundial. Na Europa, os sistemas fotovoltaicos foram a fonte de eletricidade mais instalada no ano de 2012, na frente da eólica, térmica e todas as outras fontes. Ainda neste continente, a potência fotovoltaica instalada deve chegar a 130 GWp até o ano de 2020 (EPIA, 2013).

Neste mesmo ritmo, a produção anual de módulos FV também cresce de forma acelerada nos últimos 8 anos: 1,8 GWp em 2005 para algo entre 60 GWp e 70 GWp em 2012 (REN21, 2013).

Segundo Urbanetz (2010), todos os países que se destacam na aplicação desta tecnologia adotaram programas de incentivo, seja subsidiando a aquisição dos sistemas FV, remunerando atrativamente a energia fotogerada ou ambas as situações. A Figura 23 lista os dez países que possuem as maiores capacidades instaladas de energia fotovoltaica ao fim do ano de 2012.

	2012
1	<i>Germany</i>
2	<i>Italy</i>
3	<i>China</i>
4	<i>USA</i>
5	<i>Japan</i>
6	<i>France</i>
7	<i>Australia</i>
8	<i>India</i>
9	<i>UK</i>
10	<i>Greece</i>

Figura 22: Os 10 países com maior capacidade FV instalada
Fonte: IEA, 2013

2.5.5. Panorama Nacional

No Brasil, até a implantação de políticas públicas de incentivo, existiam poucos SFVCRs vistos como uma forma de geração distribuída. A grande maioria estava instalada em universidades e centros de pesquisa, com objetivo de prospecção dos benefícios e da viabilidade desta tecnologia. Pouquíssimas eram as instalações voltadas ao aspecto de geração efetiva de energia (TIEPOLO e CANGIOLIERI, 2012).

Seguindo a tendência de investimento em geração distribuída e os avanços tecnológicos que tem tornado a eficiência da geração fotovoltaica cada vez maior, cabe ao estado brasileiro, na figura de órgãos governamentais, apoiar a pesquisa e desenvolvimento dos sistemas fotovoltaicos, quer seja através de subsídios ou outras formas de incentivo, como já acontece em outros países (TIEPOLO e CANGIOLIERI, 2012).

Neste contexto, o governo brasileiro, através da ANEEL, publicou, em 2011, a Chamada nº13/2011 – Projeto Estratégico: “Arranjos técnicos e comerciais para a inserção da geração solar fotovoltaica na matriz elétrica brasileira” e, no ano seguinte, aprovou a Resolução 482/2012 para regulamentar a micro e mini geração distribuída no Brasil.

2.4.5.1. Chamada nº 13

A Chamada nº 13/2011, publicada em 2011 pela ANEEL, teve como objetivo incluir a geração solar fotovoltaica na matriz energética brasileira, estimular a redução de custos de geração e incentivar o desenvolvimento no país de toda a cadeia produtiva da indústria solar fotovoltaica, com a nacionalização da tecnologia empregada. Os projetos contemplados previam a instalação de usinas fotovoltaicas conectadas à rede de distribuição de energia elétrica, com capacidade entre 0,5 MWp e 3,0 MWp além de estudos de avaliação tanto do recurso solar quanto das características operacionais e econômicas das plantas. Dentro dessa filosofia, 95 propostas foram encaminhadas à ANEEL, um quantitativo surpreendente e que expressa certo estado de desenvolvimento e perspectivas de negócios. Como resultado final do processo 18 projetos foram contemplados correspondendo a cerca de 30 MWp de potência fotovoltaica instalada, envolvendo em torno de 400 milhões de reais em investimentos (ANEEL, 2011; BARBOSA et al., 2012).

2.4.5.1. Resolução Normativa nº 482

Em 17 de abril de 2012, a ANEEL aprovou a Resolução Normativa nº 482/2012 estabelecendo as condições gerais para o acesso de micro e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e definindo o sistema de compensação de energia elétrica (ANEEL, 2012).

De acordo com esta resolução, microgeração distribuída é uma central geradora de energia elétrica com potência instalada menor ou igual a 100 kW. Já a minigeração distribuída contempla centrais geradoras de potência instalada superior a 100 kW e menor ou igual a 1 MW. Ambas devem utilizar fontes de eletricidade com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração⁴ conectada à rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. Além destas definições, regulamenta-se o sistema de compensação de energia elétrica, no qual a

⁴ Co-geração é o processo de produção combinada de calor útil e energia mecânica, geralmente convertida total ou parcialmente em energia elétrica, a partir da energia química disponibilizada por um ou mais combustíveis. Trata-se da associação da geração simultânea combinada de dois ou mais tipos de energia, utilizando um único tipo de fonte energética (ANEEL, 2000).

energia elétrica injetada na rede por uma unidade consumidora compensa a energia elétrica consumida pela mesma (ANEEL, 2012).

Por fim, a partir da data de publicação da Resolução Normativa, 17/04/2012, as concessionárias de energia elétrica possuíam 240 dias para elaborar ou revisar normas técnicas que englobem, em sua totalidade, a microgeração e a minigeração distribuída (ANEEL, 2012).

2.4.5.2. Resolução Normativa nº 517

Ainda no ano de 2012, a ANEEL sentiu a necessidade de alterar alguns trechos da Resolução Normativa nº 482 (esta continua válida, entretanto passou por modificações em seu conteúdo). Estas alterações ocorreram através da publicação, em 11 de dezembro de 2012, da Resolução Normativa nº 517.

De acordo com Moraes (2013), a principal razão para o surgimento desta nova resolução seria a alegação, por parte da ABRADDEE, de que o sistema de compensação criaria uma relação de compra e venda entre residências e distribuidoras de energia elétrica e, desta forma, seria cabível a cobrança do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e de Serviços – ICMS. O trecho a seguir, retirado na Resolução Normativa nº 517, estabelece a natureza jurídica da operação de troca de energia entre consumidor e distribuidoras.

Sistema de compensação de energia elétrica: sistema no qual a energia 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 (ANEEL, 2012, p. 02).

Outros pontos levantados pela nova resolução são relativos à: possibilidade do uso dos créditos em outras unidades consumidoras; elucidações sobre a dispensa de assinatura de contratos de conexão e uso na qualidade de geração

para as unidades consumidoras que aderirem ao sistema; explicação quanto à definição do termo “tarifas de energia” e alterações textuais com a finalidade de deixar mais clara a compensação dos créditos referentes à energia ativa (ANEEL, 2012).

Com a menção dos esforços para inserção da energia solar fotovoltaica na matriz elétrica nacional, este capítulo atinge o seu objetivo: embasar o material de pesquisa a ser apresentado no Capítulo 3. O aumento na demanda elétrica, a consolidação do conceito de desenvolvimento sustentável e a citação das principais fontes utilizadas para obtenção de energia elétrica, com destaque para os sistemas fotovoltaicos e os cenários atuais desta tecnologia, evidenciam motivos e tendências que justificam o estudo apresentado na sequência.

3. LEVANTAMENTO DE DADOS – CENÁRIO NACIONAL

Conforme mencionado no Capítulo 2, o Capítulo 3 objetiva levantar toda a documentação técnica gerada a partir da publicação das Resoluções Normativas Nº482 e Nº517. A própria ANEEL, buscando subsidiar a criação das novas normas técnicas por parte das concessionárias, resultados da Resolução citada, instituiu uma série de procedimentos que devem ser seguidos. Tais procedimentos fazem parte dos Procedimentos de Distribuição Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, os quais são documentos elaborados pela ANEEL que normatizam e padronizam as atividades técnicas relacionadas ao funcionamento e desempenho dos sistemas de distribuição de energia elétrica (ANEEL, 2012).

Dos nove módulos contidos no PRODIST, o acesso ao Sistema de Distribuição está presente no Módulo 3. Neste módulo, a Seção 3.7 trata exclusivamente do acesso de micro e minigeração distribuída. A seguir são detalhados os aspectos relevantes deste módulo (ANEEL, 2012).

3.1. ACESSO DE MICRO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA (SEÇÃO 3.7)

Esta Seção objetiva descrever os procedimentos para acesso de micro e minigeração distribuída ao sistema de distribuição. Conforme a ANEEL, para a viabilização do acesso duas etapas se fazem necessárias: a solicitação de acesso e o parecer de acesso.

3.1.1. Solicitação de Acesso

De responsabilidade do acessante⁵, a solicitação de acesso é um requerimento que deve ser entregue à acessada⁶, contendo o projeto das instalações de conexão, incluindo memorial descritivo, localização, arranjo físico e

⁵ Unidade consumidora, central geradora, distribuidora ou agente importador ou exportador de energia com instalações que se conectam ao sistema elétrico de distribuição, individualmente ou associados (ANEEL, 2012).

⁶ Distribuidora de energia elétrica em cujo sistema elétrico o acessante conecta suas instalações (ANEEL, 2012).

diagramas. Além destes, a distribuidora de energia elétrica pode solicitar outros documentos e informações que julgar pertinentes, conforme a sua própria norma técnica - a ser obrigatoriamente disponibilizada na *Internet* (ANEEL, 2012).

3.1.2. Parecer de Acesso

Trata-se de um documento formal apresentado pela distribuidora de energia elétrica, no qual constam informações relativas às condições de acesso, compreendendo a conexão e o uso, e os requisitos técnicos que permitam a conexão das instalações do acessante (ANEEL, 2012). O Quadro 1 traz resumo das duas etapas apresentadas, com apresentação de prazos e responsáveis.

ETAPA	AÇÃO	RESPONSÁVEL	PRAZO
1 Solicitação de acesso	(a) Formalização da solicitação de acesso, com o encaminhamento de documentação, dados e informações pertinentes, bem como dos estudos realizados.	Acessante	-
	(b) Recebimento da solicitação de acesso.	Distribuidora	-
	(c) Solução de pendências relativas às informações solicitadas na Seção 3.7.	Acessante	Até 60 (sessenta) dias após a ação 1(b)
2 Parecer de acesso	(a) Emissão de parecer com a definição das condições de acesso.	Distribuidora	<p>i. Se não houver necessidade de execução de obras de reforço ou de ampliação no sistema de distribuição, até 30 (trinta) dias após a ação 1(b) ou 1(c).</p> <p>ii. Para central geradora classificada como minigeração distribuída e houver necessidade de execução de obras de reforço ou de ampliação no sistema de distribuição, até 60 (sessenta) dias após a ação 1(b) ou 1(c).</p>

Quadro 1: Solicitação e parecer de acesso
Fonte: ANEEL, 2012

Com o cumprimento das solicitações realizadas pela concessionária no parecer de acesso, o acessante deve solicitar a vistoria em suas instalações. Nesta

fase do processo, cabe à acessada realizar a vistoria, emitindo um relatório com pontos remanescentes a serem corrigidos. Quando da adequação de todos os critérios técnico-operacionais, fica sob responsabilidade da concessionária aprovar o ponto de conexão e, por fim, efetuar a conexão das centrais geradoras ao sistema de distribuição (ANEEL, 2012). A Figura 24 traz o resumo de todas as etapas burocráticas envolvidas no processo.

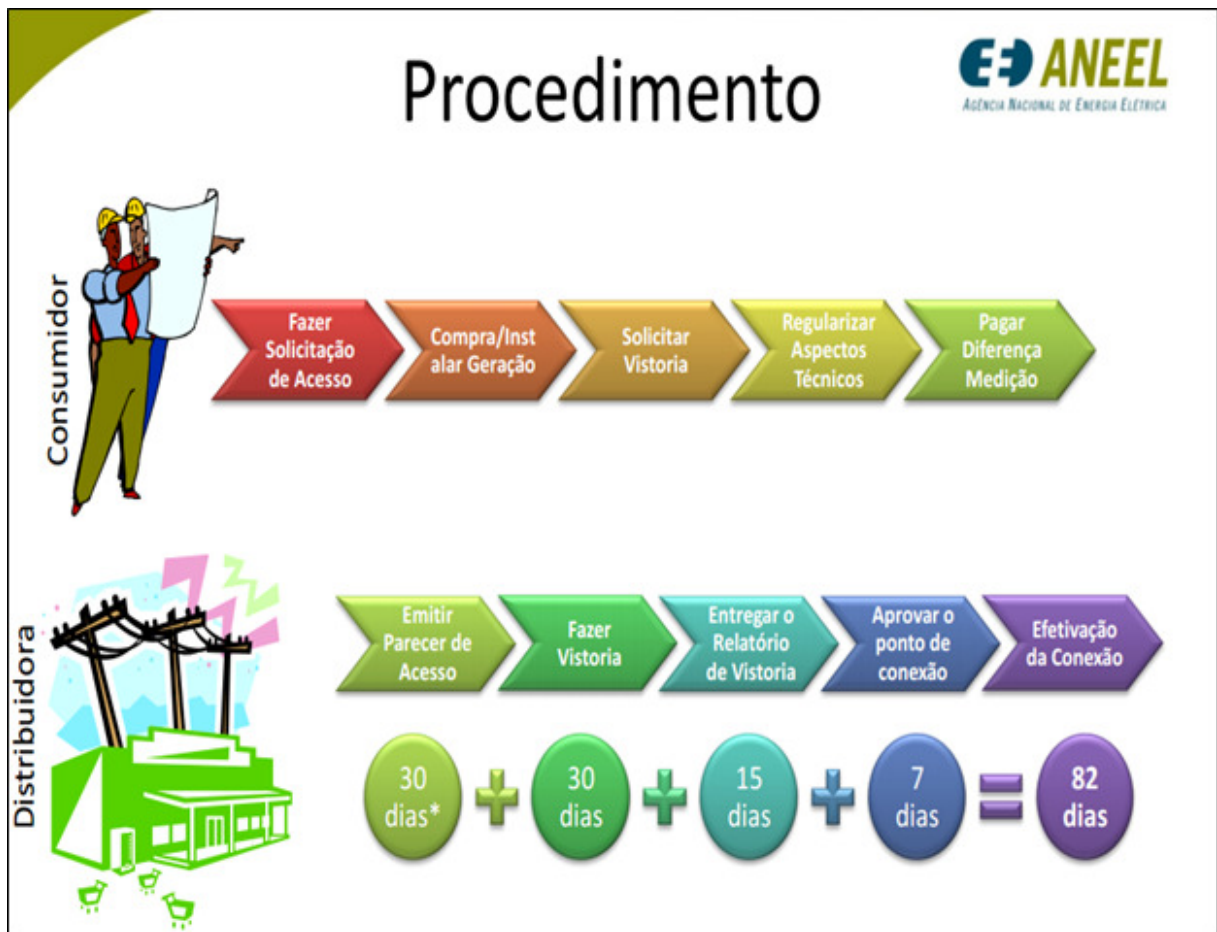


Figura 23: Procedimentos burocráticos da micro e minigeração distribuída
Fonte: ANEEL, 2013

3.1.3. Critérios Técnicos e Operacionais

Neste item, apresenta-se o resumo dos requisitos de projetos e da definição de componentes que as unidades de micro e minigeração devem conter e atender para a manutenção da qualidade do sistema elétrico de potência.

3.1.3.1. Ponto de conexão

Na minigeração distribuída, o ponto de conexão deve situar-se na intersecção das instalações da propriedade do acessante com o sistema de distribuição acessado. Já na microgeração distribuída, o ponto de conexão as instalações da distribuidora é o mesmo da unidade consumidora (ANEEL, 2012).

3.1.3.2. Conexão

3.1.3.2.1. Tensão de conexão

Para fins de definição da tensão de conexão da central de mini e microgeração distribuída devem ser consideradas as faixas de potência indicadas no Quadro 2.

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

Quadro 2: Níveis de tensão considerados para conexão de micro e minicentrals geradoras
Fonte: ANEEL, 2012

3.1.3.2.2. Requisitos mínimos

Os requisitos mínimos necessários para o ponto de conexão da central geradora são definidos em função da potência instalada da mesma (ANEEL, 2012). Entre eles estão:

- Elemento de desconexão: trata-se de uma chave seccionadora visível e acessível que a acessada usa para garantir a desconexão da central geradora durante a manutenção em seu sistema. Necessário em todas as

unidades de micro e minigeração distribuída independente da potência instalada.

- Elemento de interrupção: também necessário em todas as centrais geradoras. É um elemento de interrupção automática acionado por proteção, para microgeradores distribuídos e por comando e/ou proteção, para minigeradores distribuídos.
- Transformador de acoplamento: requisitado apenas nos casos em que a potência instalada é superior a 101 kW.
- Proteção de sub e sobretensão: dispositivos de proteção que atuam quando a tensão cai abaixo ou ultrapassa um valor preestabelecido. Necessário em todas as unidades de micro e minigeração. Entretanto, no caso das mesmas possuírem potência instalada inferior a 500 kW não se faz necessário o uso de relé de proteção específico, mas de um sistema eletroeletrônico que detecte tais anomalias e que produza uma saída capaz de operar na lógica de atuação do elemento de interrupção.
- Proteção de sub e sobrefrequência: dispositivos de proteção que atuam quando a frequência cai abaixo ou ultrapassa um valor preestabelecido. Assim como no caso anterior, é necessário em todas as unidades de micro e minigeração. Entretanto, no caso das mesmas possuírem potência instalada inferior a 500 kW não se faz necessário o uso de relé de proteção específico, mas de um sistema eletroeletrônico que detecte tais anomalias e que produza uma saída capaz de operar na lógica de atuação do elemento de interrupção.
- Proteção contra desequilíbrio de corrente: previsto somente para unidades geradoras acima de 500 kW. Trata-se de uma condição na qual as três fases do sistema elétrico de potência apresentam diferentes valores de corrente em módulo ou defasagem angular entre fases diferentes de 120° graus elétricos.
- Proteção contra desbalanço de tensão: previsto somente para unidades geradoras acima de 500 kW. Trata-se de uma condição na qual as três fases do sistema elétrico de potência apresentam diferentes valores de tensão em módulo ou defasagem angular entre fases diferentes de 120° graus elétricos.

- Sobrecorrente direcional: dispositivo previsto somente para unidades geradoras acima de 500 kW com atuação quando a corrente tem um sentido diferente do pré-estabelecido, de acordo com sua referência de polarização.
- Sobrecorrente com restrição de tensão: quando ocorre um curto-circuito em um gerador, a corrente de curto-circuito “amortece” rapidamente e seu valor permanente pode ficar abaixo da corrente nominal do gerador. Esse tipo de proteção diferencia a ocorrência desse fenômeno da operação normal do gerador. Previsto somente para unidades geradoras acima de 500 kW.
- Relé de sincronismo: permite o paralelismo entre as centrais geradoras e a rede elétrica e deve ser empregado em todos os casos.
- Anti-ilhamento: proteção já apresentada; necessária em todas as centrais geradoras.
- Estudo de curto-circuito: se a norma da distribuidora indicar a necessidade de realização do estudo de curto-circuito, caberá à acessada a responsabilidade pela sua execução e somente nos casos de unidades de minigeração distribuída.
- Medição: para microgeração faz-se necessário o uso de medidores de energia bidirecional capaz de diferenciar, no mínimo, a energia elétrica ativa consumida da injetada na rede. Já para minigeração devem ser utilizados medidores de quatro quadrantes, isto é, capazes de medir energia ativa e reativa tanto injetada na rede quanto consumida.
- Ensaio: em todos os casos, o acessante deve apresentar certificados (nacionais ou internacionais) ou declaração do fabricante que os equipamentos foram ensaiados conforme normas técnicas brasileiras ou, na ausência, internacionais.

No Quadro 3 é possível obter, em função da potência instalada, resumo dos requisitos mínimos necessários para o ponto de conexão da unidade geradora.

EQUIPAMENTO	Potência Instalada		
	Até 100 kW	101 kW a 500 kW	501 kW a 1 MW
Elemento de desconexão	Sim	Sim	Sim
Elemento de interrupção	Sim	Sim	Sim
Transformador de acoplamento	Não	Sim	Sim
Proteção de sub e sobretensão	Sim	Sim	Sim
Proteção de sub e sobrefreqüência	Sim	Sim	Sim
Proteção contra desequilíbrio de corrente	Não	Não	Sim
Proteção contra desbalanço de tensão	Não	Não	Sim
Sobrecorrente direcional	Não	Não	Sim
Sobrecorrente com restrição de tensão	Não	Não	Sim
Relé de sincronismo	Sim	Sim	Sim
Anti-ilhamento	Sim	Sim	Sim
Estudo de curto-circuito	Não	Sim	Sim
Medição	Sistema de Medição Bidirecional	Medidor 4 Quadrantes	Medidor 4 Quadrantes
Ensaio	Sim	Sim	Sim

Quadro 3: Requisitos mínimos de proteção em função da potência instalada
Fonte: ANEEL, 2012

É importante ressaltar que estes critérios apresentados acima devem se tratar exclusivamente de subsídio para as distribuidoras de energia elétrica. Estas podem propor proteções adicionais, desde que justificadas tecnicamente, em função de características específicas do sistema de distribuição acessado (ANEEL, 2012).

3.1.3.2.3. Valores de referência

O acessante deve garantir, ao conectar suas instalações, que não sejam violados os valores de referência no ponto de conexão estabelecidos para os parâmetros mostrados na sequência. Os valores de referência são estabelecidos na Seção 8.1 do Módulo 8⁷ do PRODIST – Qualidade da Energia Elétrica.

⁷ O Módulo 8 do PRODIST é responsável pelo estabelecimento de procedimentos relativos à qualidade da energia elétrica, abordando a qualidade do produto e a qualidade do serviço prestado.

- tensão em regime permanente: a Tabela 1 e a Tabela 2 evidenciam os valores de referência para a tensão em regime permanente, de acordo com a tensão de conexão;

Tabela 1: Valores de referência para pontos de conexão com tensão igual ou inferior a 1 kV

Tensão de atendimento	Faixa de Variação
Adequada	$0,91V_n \leq V \leq 1,05V_n$
Precária	$0,85V_n \leq V < 0,91V_n$ ou $1,05V_n \leq V < 1,06V_n$
Crítica	$V < 0,85V_n$ ou $V > 1,06V_n$

Fonte: Adaptado de ANEEL, 2012

Tabela 2: Valores de referência para pontos de conexão com tensão superior a 1 kV e inferior a 69 kV

Tensão de atendimento	Faixa de Variação
Adequada	$0,93V_n \leq V \leq 1,05V_n$
Precária	$0,90V_n \leq V < 0,93V_n$
Crítica	$V < 0,90V_n$ ou $V > 1,05V_n$

Fonte: ANEEL, 2012

- fator de potência: Para unidade consumidora ou conexão entre distribuidoras com tensão inferior a 230 kV, o fator de potência no ponto de conexão deve estar compreendido entre 0,92 e 1,00 indutivo ou 1,00 e 0,92 capacitivo, de acordo com regulamentação vigente (ANEEL, 2012);

- harmônicos: os valores de referência para as distorções harmônicas totais estão indicados na Tabela 3 a seguir;

Tabela 3: Valores de referência globais das distorções harmônicas totais

Tensão nominal de barramento	Distorção Harmônica Total de Tensão (%)
$V \leq 1$ kV	10
1 kV $\leq V \leq 13,8$ kV	8
$13,8$ kV $\leq V \leq 69$ kV	6
69 kV $\leq V \leq 230$ kV	3

Fonte: ANEEL, 2012

- desequilíbrio de tensão: com valor limitado a 2%, este fenômeno é associado a alterações dos padrões das tensões trifásicas do sistema de distribuição (ANEEL, 2012);

- flutuação de tensão: variação aleatória, repetitiva ou esporádica do valor eficaz da tensão (ANEEL, 2012). A Tabela 4 mostra a terminologia aplicável às formulações de cálculo da flutuação de tensão.

Tabela 4: Terminologia

Identificação da grandeza	Símbolo
Severidade de curta duração	Pst
Severidade de longa duração	Plt
Valor diário do indicador Pst que foi superado em apenas 5% dos registros obtidos no período de 24 horas	PstD95%
Valor semanal do indicador Plt que foi superado em apenas 5% dos registros obtidos no período de sete dias completos e consecutivos	PltS95%

Fonte: ANEEL, 2012

Para a obtenção dos valores de Pst e Plt utilizam-se de procedimentos estabelecidos nos documentos do *International Electrotechnical Commission* - IEC. De acordo com estas normas, o indicador Pst refere-se à flutuação de tensão verificada em um período contínuo de dez minutos. Por sua vez, o indicador Plt expressa a flutuação de tensão verificada em um período contínuo de duas horas, através da composição de 12 valores consecutivos de Pst (ANEEL, 2012).

Ao longo de 24 horas deve ser obtido um conjunto de valores de Pst que levará ao PstD95% e, de maneira análoga, ao longo de sete dias, obtém-se um conjunto de valores de Plt que conduzirá ao valor de PltS95%. Na Tabela 5, valores de referência para PstD95% e PltS95% (ANEEL, 2012).

Tabela 5: Valores de referência para PstD95% e PltS95%

Valor de Referência	PstD95%	PltS95%
Adequado	< 1 p.u.	< 0,8 p.u.
Precário	1 p.u. – 2 p.u.	0,8 p.u. – 1,6 p.u.
Crítico	> 2 p.u.	> 1,6 p.u.

Fonte: Adaptado de ANEEL, 2012

- variações de frequência: o sistema de distribuição e as instalações de geração conectadas ao mesmo devem operar dentro dos limites de frequência situados entre 59,9 Hz e 60,1 Hz. Entretanto, em situações diferentes da apresentada, consideram-se tempos máximos permitidos, antes do corte da conexão, para a recuperação do equilíbrio carga-geração: pode permanecer acima de 62 Hz por no máximo 30 segundos e acima de 63,5 por no máximo 10 segundos; pode permanecer abaixo de 58,5 por no máximo 10 segundos e abaixo de 57,5 por no máximo 5 segundos; não é permitido que o sistema conectado à rede de distribuição exceda 66 Hz, ou seja, inferior a 56,5 Hz (ANEEL, 2012).

3.1.3.3. Sistema de medição

O sistema de medição deve atender às mesmas especificações exigidas para unidades consumidoras conectadas no mesmo nível de tensão da central geradora. Entretanto, conforme relatado nos requisitos mínimos referentes à medição, os medidores devem possuir, quando da microgeração, sistema de medição bidirecional e, quando da minigeração, sistema de medição em quatro quadrantes (ANEEL, 2012).

Tais funcionalidades são necessárias ao Sistema de Compensação de Energia Elétrica, no qual a energia ativa gerada por unidade consumidora com microgeração distribuída ou minigeração distribuída compense o consumo de energia elétrica ativa (ANEEL, 2012).

3.2. NORMATIZAÇÃO POR PARTE DAS DISTRIBUIDORAS DE ENERGIA ELÉTRICA

A partir da publicação da Resolução Normativa N°482/2012, e revisão do PRODIST contemplando o tema, as distribuidoras de energia elétrica tinham até 17/12/2012 para a apresentação de suas novas normas técnicas (ANEEL, 2012). Este trabalho, de modo a atingir os objetivos traçados, buscou reunir todas as normas disponibilizadas para posterior estudo comparativo.

3.2.1. Distribuidoras de Energia Elétrica

De acordo com a Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica – ABRADEE, há um total de 64 empresas de distribuição de energia elétrica atuando em território nacional. O Quadro 4 traz a relação destas empresas e de seus grupos controladores.

Empresa		Grupo Controlador/Capital
AES SUL	AES-Sul Distribuidora Gaúcha de Energia S.A.	AES
AES ELETROPAULO	Metropolitana Eletricidade de São Paulo S.A.	AES
CPFL JAGUARI	Companhia Jaguarí de Energia	CPFL ENERGIA
CPFL LESTE	Companhia Paulista de Energia Elétrica	CPFL ENERGIA
CPFL MOCOCA	Companhia Luz e Força Mococa	CPFL ENERGIA
CPFL PAULISTA	Companhia Paulista de Força e Luz	CPFL ENERGIA
CPFL PIRATININGA	Companhia Piratininga de Força e Luz	CPFL ENERGIA
CPFL SANTA CRUZ	Companhia Luz e Força Santa Cruz	CPFL ENERGIA
CPFL SUL	Companhia Sul Paulista de Energia	CPFL ENERGIA
EDP BANDEIRANTE	Bandeirante Energia S.A.	EDP
EDP ESCELSA	Espírito Santo Centrais Elétricas S.A	EDP
ELETROBRAS AC	Eletrobras Distribuição Acre	ELETROBRAS
ELETROBRAS AL	Eletrobras Distribuição Alagoas	ELETROBRAS
ELETROBRAS AM	Eletrobras Amazonas Energia	ELETROBRAS
ELETROBRAS PI	Eletrobras Distribuição Piauí	ELETROBRAS
ELETROBRAS RO	Eletrobras Distribuição Rondônia	ELETROBRAS
ELETROBRAS RR	Eletrobras Distribuição Roraima	ELETROBRAS
CELG-D	Companhia Energética de Goiás	ELETROBRAS
AMPLA	Ampla Energia e Serviços S.A.	ENDESA
COELCE	Companhia Energética do Ceará	ENDESA
BORBOREMA	Energisa Borborema	ENERGISA
ENERGISA MG	Energisa Minas Gerais	ENERGISA
ENERGISA PB	Energisa Paraíba	ENERGISA
ENERGISA SE	Energisa Sergipe	ENERGISA
NOVA FRIBURGO	Energisa Nova Friburgo	ENERGISA
CELPA	Centrais Elétricas do Pará S.A.	EQUATORIAL
CEMAR	Companhia Energética do Maranhão	EQUATORIAL
ELEKTRO	Elektro Eletricidade e Serviços S.A.	IBERDROLA
CELPE	Companhia Energética de Pernambuco	NEOENERGIA
COELBA	Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia	NEOENERGIA
COSERN	Companhia Energética do Rio Grande do Norte	NEOENERGIA
ALIANÇA	Cooperativa Aliança	Particular
CHESP	Companhia Hidroelétrica São Patrício	Particular
COCEL	Companhia Campolarguense de Energia	Particular
FORCEL	Força e Luz Coronel Vivida Ltda.	Particular
IGUAÇU	Iguaçu Distribuidora de Energia Elétrica Ltda.	Particular
JARI	Jari Energética S/A. - JESA	Particular
JOÃO CESA	Empresa Força e Luz João Cesa Ltda	Particular
MUXFELDT	Muxfeldt, Marin & Cia Ltda.	Particular
NOVA PALMA	Usina Hidroelétrica Nova Palma (UENPAL)	Particular
PANAMBI	Hidroelétrica Panambi S.A (HIDROPAN)	Particular
RGE	Rio Grande Energia S.A.	Particular
SANTA MARIA	Empresa Luz e Força Santa Maria S.A	Particular
SULGIPE	Companhia Sul Sergipana de Eletricidade	Particular

Quadro 4: Distribuidoras de energia elétrica atuantes em território nacional

(continua)

FONTE: ABRADEE

Empresa		Grupo Controlador/Capital
URUSSANGA	Empresa Força e Luz de Urussanga Ltda. (EFLUL)	Particular
CEA	Companhia de Eletricidade do Amapá	Público (Estadual)
CEB	Companhia Energética de Brasília	Público (Estadual)
CEEE	Companhia Estadual de Energia Elétrica	Público (Estadual)
CELESC	Centrais Elétricas de Santa Catarina S. A.	Público (Estadual)
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais	Público (Estadual)
CERR	Companhia Energética de Roraima	Público (Estadual)
COPEL	Companhia Paranaense de Energia	Público (Estadual)
DEMEI	Departamento Municipal de Energia de Ijuí	Público (Municipal)
DMED	DME Distribuição S.A.	Público (Municipal)
ELETROCAR	Centrais Elétricas de Carazinho S.A	Público (Municipal)
BRAGANTINA	Empresa Elétrica Bragantina S.A.	REDE ENERGIA
CAIUÁ	Caiuá Serviços de Eletricidade S.A.	REDE ENERGIA
CELTINS	Companhia de Energia Elétrica do Estado do Tocantins	REDE ENERGIA
CEMAT	Centrais Elétricas Matogrossenses S. A.	REDE ENERGIA
CFLO	Companhia Força e Luz do Oeste	REDE ENERGIA
ENERSUL	Empresa Energética do Mato Grosso do Sul S.A	REDE ENERGIA
NACIONAL	Companhia Nacional de Energia Elétrica	REDE ENERGIA
PARANAPANEMA	Empresa de Eletricidade Vale do Paranapanema S.A.	REDE ENERGIA
LIGHT	Light Serviços de Eletricidade S.A.	RME

Quadro 4: Distribuidoras de energia elétrica atuantes em território nacional

(conclusão)

FONTE: ABRADEE

3.2.2. Metodologia de Pesquisa

Como, segundo o PRODIST, é obrigatório que as distribuidoras de energia elétrica disponibilizem as referidas normas técnicas em seus endereços eletrônicos, foi necessário o acesso ao endereço eletrônico de cada empresa para obter as informações necessárias ao trabalho. Durante esta primeira etapa, já foi possível fazer algumas considerações, listadas a seguir. É importante salientar que as conclusões mostradas são baseadas nas normas disponibilizadas até período em que se realizou o levantamento de dados para esta pesquisa, ou seja, o mês de setembro do ano de 2013.

- Nem todas as empresas apresentaram normas técnicas para a conexão de micro e minigeradores distribuídos ao longo da rede de distribuição. É o caso das empresas: IGUAÇU, SULGIPE, ALIANÇA, CHESP, JARI, JOÃO CESA, MUXFELDT, NOVA PALMA, PANAMBI, URUSSANGA, COCEL, DEMEI, ELETROCAR, CER e empresas do grupo ELETROBRAS. A empresa LIGHT forneceu apenas normatização para conexão em baixa tensão (até 100 kW).
- Algumas das distribuidoras de energia elétrica controladas por um mesmo grupo apresentaram a mesma norma. Esta apresentação se deu ou com a

divulgação de uma só norma para todo o grupo ou com a apresentação de uma norma por empresa do grupo, mas com o mesmo conteúdo técnico. É o caso dos grupos CPFL ENERGIA, EDP e NEOENERGIA.

- Grande parte das distribuidoras de energia elétrica dividiram a apresentação de sua normatização em duas. A primeira trataria da conexão em baixa tensão e a segunda da conexão em média tensão, conforme potência da geração. É o caso das empresas: BRAGANTINA, CELPA, CELPE, CELTINS, CEMAR, CEMAT, entre outras.

- As distribuidoras de energia elétrica ELEKTRO e ENERGISA consideram a micro e minigeração distribuída como qualquer outra geração em paralelo.

Já de posse das normas disponíveis, coube a criação de uma “Tabela-base”.

Esta primeira Tabela foi criada de acordo com sugestões presentes no PROCEL, conforme Quadro 3. As colunas trazem informações referentes a requisitos básicos necessários à conexão e a aspectos de qualidade, fundamentais ao funcionamento do sistema elétrico de potência. Por sua vez, as linhas, além de mostrar qual concessionária está sendo estudada, trazem o nível de tensão da conexão, conforme potência de geração.

Desta forma, a cada nova norma estudada, novas linhas eram criadas e, se necessário, adicionavam-se novas colunas para abranger critérios de conexão que não haviam sido levantados até então. Durante a elaboração desta Tabela de dados, verificou-se a necessidade de especificar de qual forma os critérios solicitados deveriam se apresentar. Sendo assim, adicionaram-se novas linhas com o intuito de acrescentar informações de modo a aumentar material da posterior comparação.

3.2.3. Apresentação dos Dados Obtidos

O resultado completo da pesquisa apresenta, na forma de uma tabela, no Apêndice 01 deste trabalho. A título de exemplo, segue resumo dos dados fornecidos pela COPEL – escolhida por ser a concessionária responsável pela distribuição de energia elétrica onde se realiza este trabalho de pesquisa.

COPEL: Resumo dos Critérios				
Potência instalada	Até 75 kW	75 kW a 100 W	101 kW a 500 kW	500 kW a 1 MW
Nível de Tensão de conexão	Baixa Tensão	Média tensão. Há a possibilidade de ligação em	Média tensão. Copel pode ligar em AT. Depende da análise de menor custo	
Elemento de desconexão	Deve ser utilizada chave seccionadora visível			
Elemento de interrupção	Disjuntor na BT, Religador na MT			
Transformador de acoplamento	Não		Sim. Em 34.5 kV, conexão em Delta pelo lado do acessante e conexão estrela com neutro aterrado pelo lado da concessionária.	
Proteção de sub e sobretensão	A norma pede o uso de relés para este fim, mas não define valores.			
Proteção de sub e sobrefrequência	A norma pede o uso de relés para este fim, mas não define valores.			
Proteção contra desequilíbrio de corrente	Não		A norma pede o uso de relés para este fim, mas não define valores.	
Proteção contra desbalanço de tensão	Não			A norma pede o uso de relés para este fim, mas não define valores.
Sobrecorrente direcional	Não			Sim. O acessante deverá fazer os estudos de valores e propor ao ajustes à COPEL
Sobrecorrente com restrição de tensão	Não			Sim. O acessante deverá fazer os estudos de valores e propor ao ajustes à COPEL
Sobrecorrente instatâneo/temporizado	Facultativo, porém recomendado	Sim		
Relé de sincronismo	As instalações do acessante devem cumprir as condições de sincronismo, mas a concessionária não estabelece quais são.			
Anti-ilhamento	Sim. Porém, não especifica em quanto tempo.			
Estudo de curto-circuito	Sim, realizado pelo acessante.			
Medição	Medição direta até 100 A e indireta entre 101 A e 200 A.	Medição Indireta acima de 101 A		
Ensaio	Sim, conforme PRODIST.			
Dispositivo de proteção contra surtos	Não			
Direcional de Potência Ativa	Não			Sim, dependendo do que for definido no acordo operativo.
Sobrecorrente instatâneo/temporizado de neutro	Facultativo, porém recomendado	Sim		
Proteção contra falha de disjuntor	Necessidade dependerá da configuração do sistema. Sistemas em anel, por exemplo, precisam.			
Sobretensão residual ou sobretensão de neutro	Não	Sim		
Subcorrente	Não		A partir de 300 kW	
Sobrecorrente temporizada de terra	Não			
Sobrecorrente direcional de neutro	Não			Sim. O acessante deverá fazer os estudos de valores e propor ao ajustes à COPEL
Temporizador	Não			
Tensão em regime	$(201 \leq TL \leq 231) / (116 \leq TL \leq 133)$			
Flutuação de tensão (flicker)	Pst D95% de 0.8 pu e Pst SD95% de 0.6 pu			
Frequência	Sim, porém não especifica valores.			
Distorção Harmônica	< 3%			
Fator de Potência	Conforme acordo operativo			
Injeção de Componente c.c.	Não			
Desequilíbrio de tensão	1.5%			

Quadro 5: Resumo dos critérios apresentados pela COPEL

Os principais pontos levantados a partir do estudo de todas as normas disponibilizados destacam-se a seguir:

- Os elementos de desconexão, tratados como fundamentais no PRODIST para todas as potências geradas, são adotados por todas as concessionárias que apresentaram normas. As diferenças encontradas estão na especificação destes elementos. Foram encontradas quatro diferentes especificações: chave seccionadora visível e acessível, chave fusível seccionadora visível e acessível, chave seccionadora manual, sem fusíveis e com dispositivo para cadeados e, por fim, chaves fusíveis unipolares, tipo expulsão. Destacam-se para este item as empresas ELEKTRO e ENERGISA, pois não apresentaram nenhuma especificação para as potências de geração compreendidas entre 101 kW e 1 MW.
- Também considerados obrigatórios no PRODIST para todas as potências de geração, os elementos de interrupção foram adotados por todas as empresas estudadas e, novamente, a diferença se deu na especificação, que variou de empresa para empresa. As duas principais especificações encontradas foram disjuntor termomagnético e elemento de interrupção acionado por proteção, sendo, a última, vaga por não explicitar o equipamento a ser utilizado. A COPEL diferenciou-se por exigir religadores quando da conexão dos geradores na rede de média tensão da empresa. As normas da CPFL, da ENERGISA (quando da conexão em média tensão) e AES SUL (quando da conexão em média tensão) não apresentaram nenhuma especificação.
- Tratados como obrigatórios para potências geradas acima de 100 kW, os transformadores de acoplamento foram assim tratados por grande parte das concessionárias. Somente as empresas AES SUL, AES ELETROPAULO, CEMAR, CELPA, COELBA, COSERN e CEEE não consideram o uso do equipamento para nenhuma potência de geração.
- As proteções contra sub/sobrefrequência e sub/sobretensão foram encontradas para todas as concessionárias estudadas, conforme contido no PRODIST. As diferenças se deram nos intervalos de variação permitidos, das grandezas em questão, e nos tempos para atuação dos equipamentos para corte da conexão com a rede - apenas CPFL (para

sub/sobrefrequência), AES SUL e COPEL não definiram especificações de tempo de atuação e intervalo de variação.

- Proteções contra desequilíbrio de corrente se fazem necessárias, segundo o PRODIST, apenas para potências entre 500 kW e 1 MW. Apenas as concessionárias AES ELETROPAULO e CEEE não consideram necessário o uso de tal equipamento. Já a empresa CEMIG, foi a única a especificar o desequilíbrio máximo de corrente: 1,5%. AES SUL (300 kW a 1 MW), EDP (75 kW a 1 MW) e CELTINS (300 kW a 1 MW) consideram a utilização de proteção contra desequilíbrio de corrente para outras potências de geração.

- As proteções contra desbalanço de tensão também se fazem necessárias apenas para potências entre 500 kW e 1 MW, conforme PRODIST. As distribuidoras ELEKTRO (100 kW a 1 MW), CELTINS (100 kW a 1 MW), AES ELETROPAULO (75 kW a 1 MW) e EDP (75 kW a 1 MW) consideram utilizar proteção contra desbalanço em outras faixas de potências de geração. Já as concessionárias COELCE, AES SUL, CEEE e CEMIG não acreditam na necessidade de utilização deste equipamento. Por fim, as demais concessionárias seguiram determinações do PRODIST.

- A proteção contra sobrecorrente direcional é necessária apenas para casos nos quais a potência de geração encontra-se entre 500 kW a 1 MW. Do total de distribuidoras de energia elétrica, grande parte segue indicação do PRODIST – somente ELEKTRO (100 kW), CEMIG (300 kW), EDP (75 kW) e CELTINS (100 kW) consideram outros limites de potência mínima para requerer a proteção contra sobrecorrente direcional. Apenas AES SUL, AES ELETROPAULO e CEEE não solicitam a utilização deste equipamento.

- A proteção contra sobrecorrente com restrição de tensão se deu conforme PRODIST para a maioria das concessionárias, ou seja, para potências de geração entre 500 kW a 1 MW. AES SUL, AES ELETROPAULO e não consideram a utilização. Já as concessionárias CEMIG, EDP, CELTINS solicitam a utilização a partir de 300 kW, 75 kW e 300 kW, respectivamente.

- Embora, segundo o PRODIST, a proteção contra sobrecorrente instantânea ou temporizada não se faz necessária para nenhuma potência de geração, muitas das distribuidoras solicitam a utilização de tal equipamento, são elas: BRAGANTINA, ELEKTRO, ENERGISA, AES SUL, AES ELETROPAULO (75 kW a 1 MW), CEMAR (até 300 kW), CELPE (75

kW a 1 MW), COELBA (75 kW a 1 MW), COSERN (75 kW a 1 MW), CELTINS (até 75 kW), CFLO (até 75 kW), ENERSUL (até 75 kW), PARANAPARANEMA (até 75 kW), CAIUÁ (até 75 kW), NACIONAL (até 75 kW), CEEE, LIGHT (até 100 kW), CEB (até 75 kW), CEMIG (até 75 kW), COPEL e a CEEE (empresa específica que esta proteção deve se dar a partir de disjuntor termomagnético).

- O relé de sincronismo, indispensável em todas as potências de geração, segundo o PRODIST, é considerado necessário por todas as distribuidoras de energia elétrica. Apenas BRAGANTINA, CELTINS, CFLO, ENERSUL, PARANAPARANEMA, CAIUÁ, NACIONAL, LIGHT e CEMIG fornecem especificações sobre o uso destes equipamentos: diferença máxima de frequência igual a 0,3 Hz, diferença máxima de tensão igual a 10% e diferença máxima de ângulo de fase igual a 10°.
- A proteção anti-ilhamento é exigida por todas as concessionárias estudadas, para todas as potências de geração. O tempo para atuação desta proteção, especificado pela maioria das empresas, é de 2 segundos.
- O estudo de curto-circuito é recomendado, segundo o PRODIST, para potências acima de 100 kW. Para este item, as normatizações foram variadas: algumas empresas seguiram o PRODIST (BRAGANTINA, CELPA, ELEKTRO, ENERGISA), outras preferem por não efetuar o cálculo de curto-circuito (AMPLA, SANTA MARIA, CPFL, COELCE, AES SUL, AES ELETROPAULO, EDP, CEMAR, CELPE, COELBA, CONSERN, CELTINS, CEMAT, CFLO, ENERSUL, PARANAPARANEMA, CAIUÁ, NACIONAL, CEB e CEMIG) e apenas a COPEL sugere a realização do estudo para todas as potências geradas.
- De modo a diferenciar a energia elétrica ativa consumida da energia elétrica injetada na rede, o PRODIST recomenda a utilização de sistema de medição bidirecional e sistema de medição em quatro quadrantes para micro e minigeração distribuída, respectivamente. Grande parte das concessionárias seguiu tais recomendações. Ressaltam-se apenas as concessionárias AMPLA, CEEE, COELCE e AES ELETROPAULO - as duas primeiras sugerem a utilização de medição bidirecional para todos os casos, já as duas últimas não citam nenhum sistema de medição.

- Segundo o PRODIST, é necessário que todos os equipamentos utilizados na conexão com a rede de distribuição possuam certificação do INMETRO e, quando da falta desta, possuam certificação de institutos acreditados pelo INMETRO. Destacam-se, para este item, as distribuidoras de energia elétrica AES SUL, AES ELETROPAULO, CEEE, LIGHT, CEB, CEMIG, CELTINS, CEMAT, CFLO, ENERSUL, PARANAPARANEMA, CAIUÁ, NACIONAL. As três primeiras não requerem ensaios para nenhuma potência de geração e, as demais, consideram fundamentais os ensaios apenas para potências acima de 75 kW.
- Dispositivos de proteção contra surto não são exigidos, por parte do PRODIST, para nenhuma potência de geração. Entretanto algumas concessionárias consideram o uso deste equipamento – AMPLA, CELESC, SANTA MARIA, AES ELETROPAULO (até 75 kW), CEEE, CEMIG. Enquanto as duas primeiras apenas recomendam a utilização, as demais tornam a utilização obrigatória (AES ELETROPAULO e CEMIG somente para potências de geração até 75 kW).
- Responsáveis por manter a potência ativa do sistema de geração acima de um valor prefixado, os relés direcionais de potência não são obrigatórios para nenhuma potência de geração, segundo PRODIST. São apenas cinco as distribuidoras de energia elétrica que citaram este equipamento em suas normas, sendo a ELEKTRO (para 100 kW a 1 MW) a única a tratar sua utilização como obrigatória. Já para as demais - ENERGISA (para conexão em média tensão), EDP (para 75 kW a 500 kW), CEMIG (para 75 kW a 1 MW) e COPEL (para 500 kW a 1 MW) - a utilização depende de estudos específicos realizados pela própria concessionária.
- A proteção contra falha de disjuntor, responsável por monitorar a corrente do circuito em caso de falha do elemento de interrupção, consta na normatização de apenas três empresas: AES SUL, CEEE e COPEL. Para a primeira, o equipamento é obrigatório para potências de geração de 75 kW a 1 MW e, para as demais, a análise deve ser realizada baseada no projeto da instalação.
- Em caso de sobretensão de neutro, apenas as seguintes concessionárias contariam com proteção específica, tratada como não obrigatória pelo PRODIST, ELEKTRO (para potências de geração entre 100 kW e 1 MW),

AES SUL (para potências de geração entre 75 kW e 1 MW), EDP (para potências de geração entre 75 kW e 500 kW), CEEE (para todas as potências de geração) e COPEL (para potências de geração entre 75 kW e 1 MW).

- Caso a corrente gerada atinja um valor menor do que havia sido predeterminado, a proteção contra subcorrente deve ser acionada. Neste caso, as distribuidoras de energia elétrica AES SUL, para potências de geração entre 75 kW e 1 MW, e COPEL, para potências de geração entre 300 kW e 1 MW, são as únicas a exigir esta proteção, não indicada pelo PRODIST.
- Apenas a concessionária ELEKTRO considera obrigatória, para potências de geração entre 100 kW e 1 MW, a proteção de sobrecorrente temporizada de terra. É válido ressaltar que a ELEKTRO trata a microgeração distribuída como qualquer outra geração em paralelo;
- A temporização é considerada obrigatória apenas para a concessionária AES SUL, nas potências de geração a partir de 75 kW até 1 MW. Tais equipamentos são capazes de medir o tempo, sendo um tipo de relógio especializado, para ser usado para controlar a sequência de um evento ou processo.
- Por sua vez, a proteção contra sobrecorrente direcional de neutro é exigida, sem subsídio do PRODIST, por quatro concessionárias, listadas a seguir: ELEKTRO (para potência de geração entre 100 kW e 1 MW), CEEE (para todas as potências de geração), CEMIG (para potência de geração entre 75 kW e 1 MW) e COPEL (potência de geração entre 500 kW e 1 MW).
- A utilização de proteção contra sobrecorrente instantânea/temporizada de neutro se faz necessária para as seguintes distribuidoras de energia elétrica: BRAGANTINA (para potência de geração de até 75 kW), CELPA (para potência de geração acima de 75 kW), ELEKTRO (para potências de geração acima de 100 kW), AES SUL (para potências de geração acima de 75 kW), EDP (para potências de geração de até 500 kW), CEMAR (para potências de geração entre 75 kW e 1 MW), COELBA (para potência de geração de até 75 kW), COSERN (para potência de geração de até 75 kW), CELTINS (para potências de geração entre 75 kW e 500 kW), CEEE (para todas as potências de geração) e COPEL (utilização recomendada potências

de geração de até 75 kW e obrigatório para potências de geração entre 75 kW e 1 MW). É válido lembrar que se trata de uma proteção não exigida pelo PRODIST.

- A concessionária CELESC foi a única a exigir, quando do acesso em média tensão (acima 75 kW), a utilização de um modem GPRS. Tal equipamento é solicitado para supervisionar e controlar a geração.

As características a seguir referem-se às solicitações das empresas de distribuição para a manutenção dos parâmetros envolvidos na qualidade de energia da rede. Estes parâmetros também são subsidiados pelo PRODIST em seu Módulo 8 – Qualidade de Energia Elétrica.

- A tensão em regime foi definida pela maioria absoluta das concessionárias como entre 80% e 100% do valor nominal da rede para instalações até 75 kW e entre 95% e 105% do valor nominal da rede para instalações de 75 kW até 1 MW. A ENERSUL, a CEEE e a CEB, determinam que deva ser seguido o padrão PRODIST, ao passo que a COPEL indica valores específicos, que podem ser consultados na Tabela contida nos apêndices deste trabalho.
- Em relação aos valores de flutuação de tensão (*flicker*), BRAGANTINA, COELBA e a CEMIG não fazem exigências em instalações acima de 75 kW, CEEE, LIGHT, CEB, CELPA, SANTA MARIA, ELEKTRO, COELCE, CEMAR, AES SUL, AES ELETROPAULO, CELPE E COSERN não estabeleceram critérios, e a EDP não estabeleceu exigências em instalações acima de 75 kW. Fora estas exceções, as concessionárias seguiram o estabelecido no PRODIST.
- A frequência de operação também é contemplada pelo PRODIST. Apenas a AES Sul não faz exigências neste aspecto para nenhuma faixa de operação. A EDP não faz exigências para a operação até 75 kW, ao passo que a COPEL não dita valores, apesar de informar na norma que deve haver um controle desta frequência.
- Quase todas as concessionárias fazem exigências em relação à taxa de distorção harmônica. A exceção é a concessionária SANTA MARIA.
- Em relação ao fator de potência, outra vez praticamente todas as concessionária fazem exigências, sendo exceções as concessionárias

SANTA MARIA e AES SUL. A ELEKTRO faz referência apenas a operação de até 75 kW.

- A limitação de injeção de componente contínua na rede apenas não é contemplada pelas concessionárias COPEL, SANTA MARIA, ELEKTRO, AES SUL e AES ELETROPAULO. ENERGISA, EDP e CEMIG contemplam, mas apenas até 75 kW.

- Por fim, a limitação do desequilíbrio de tensão só não é contemplada pelas concessionárias CEEE, LIGHT, CEB, CELPA, SANTA MARIA, ELEKTRO, COELCE, AES SUL, AES ELETROPAULO, COELBA e COSERN. CEMIG, ENERGISA e EDP não fazem exigências para operações até 75 kW.

No Capítulo 3, levantaram-se todas as informações fornecidas pelas distribuidoras de energia elétrica em resposta à Resolução Normativa Nº 482/2012, com o subsídio da Seção 3.7 do PRODIST. De posse destas informações, foi possível realizar estudo comparativo e verificar soluções comuns, incomuns ou, até mesmo, ausentes. Nesta mesma linha de estudo, o Capítulo 4 se dedicará a reunir as normas utilizadas na Europa, por possuir uma elevada capacidade fotovoltaica instalada, de modo a compará-las com o que foi encontrado nacionalmente. O estudo das práticas e tecnologias já consagradas internacionalmente permitirá sugerir a adesão de novos padrões às normas brasileiras.

4. LEVANTAMENTO DE DADOS – CENÁRIO INTERNACIONAL

O Capítulo 3 dedicou-se ao levantamento, e posterior estudo comparativo, das normas apresentadas pelas distribuidoras de energia elétrica visando a conexão de sistemas fotovoltaicos à rede. De modo a efetuar uma comparação entre os critérios adotados no Brasil com os critérios utilizados no país com maior capacidade fotovoltaica instalada, o Capítulo 4 reunirá quais os critérios utilizados no cenário internacional, dando especial atenção para a conexão de SFVCR com *backup* de energia.

De acordo com a IEA (2013), o país com maior capacidade fotovoltaica instalada é a Alemanha, com ao menos 32 GW. A Figura 25 evidencia a participação alemã na capacidade mundial instalada.

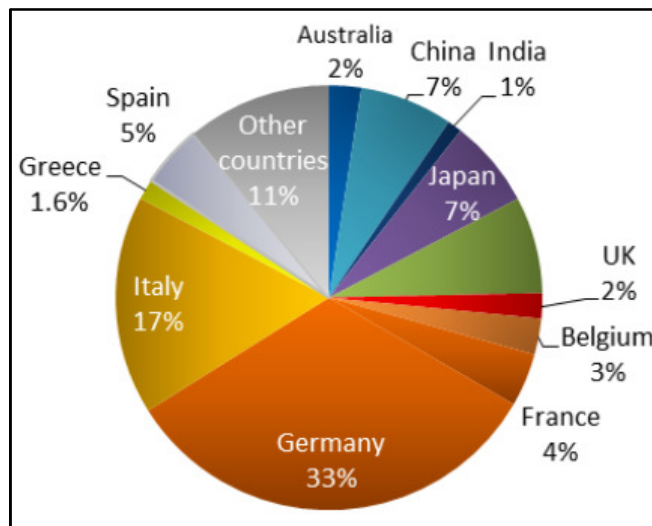


Figura 24: Participação, por país, na capacidade fotovoltaica mundial instalada
 Fonte: IEA, 2013

Frente à expressiva fatia alemã na capacidade mundial instalada, cerca de um terço do total, este capítulo se dedicará a levantar quais são os critérios utilizados pelo país para a conexão dos sistemas fotovoltaicos à rede, vistos como uma forma de geração distribuída.

4.1. SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NA ALEMANHA

A Alemanha, se comparada com outros países situados próximos à linha do Equador, como o Brasil, não possui condições completamente favoráveis para o desenvolvimento de energia solar fotovoltaica, visto que seus índices de irradiação solar não são elevados - na região da Alemanha com maior incidência de radiação solar, este índice é 40% menor do que a região com menor incidência do território brasileiro (TIEPOLO ET AL., 2013). A Figura 26 mostra o mapa solar da Alemanha.



Figura 25: Mapa solar da Alemanha
Fonte: EUROPEAN COMMISSION, 2012

Sendo assim, mesmo sem condições naturais tão favoráveis como em outros países, toda esta potência instalada só foi possível devido a uma posição estratégica

do governo alemão: inserir as fontes renováveis de energia elétrica na matriz elétrica nacional – a Figura 27 mostra, em laranja, os números referentes à adição de capacidade fotovoltaica entre 1990 e 2012. De acordo com Salamoni (2009), tal inserção se deu com a criação dos programas de incentivo listados a seguir.

- Programa *Feed-in Law*: mecanismo no qual se exige que as concessionárias de energia elétrica comprem o excedente de energia gerada pela unidade consumidora, por fonte renovável, com um preço geralmente maior do que o custo para geração convencional de energia. A estas tarifas pagas às unidades consumidoras deu-se o nome de *Feed-in Tariff* (tarifa prêmio).
- Programa “1.000 telhados fotovoltaicos”: programa que teve início em 1990 e que, até 1993, levou a mais de 2200 instalações de SFVCR, com potência individual entre 1 kWp e 5 kWp (totalizando 5,3 MWp), integrados às coberturas das edificações residenciais e comerciais. O governo alemão garantia o financiamento de 60-79% das instalações.
- Programa “100.000 telhados fotovoltaicos”: iniciado em janeiro de 1999, o programa foi subsidiado através de empréstimos ao investidor com juros baixos. Ao final de 1999, 3500 novos empréstimos foram concedidos para a instalação de mais de 9 MWp em sistemas fotovoltaicos.
- *Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG* (do alemão, Código das Fontes Renováveis de Energia): Aprovado no ano de 2000, o código estabeleceu diversas alterações na *Feed-in Law*, dentre elas, a garantia de pagamento da tarifa prêmio para os próximos 20 anos, até que se chegasse a uma potência acumulado de 350 MWp através de fontes renováveis de energia; determinação do valor da tarifa prêmio conforme custo real de geração para cada fonte (51 centavos de euros/kWh para a energia solar fotovoltaica); e o decréscimo de 5% ao ano na tarifa prêmio para novas instalações.
- Revisão do EEG (2004): Alterou-se o limite de potência acumulada através da geração por fontes renováveis de energia de 350 MWp para 1000 MWp e revisão da tarifas pagas para geração fotovoltaica conforme tamanho e tipo do sistema instalado (46 – 62 centavos de euros/kWh).
- Revisão do EEG (2009): A partir de 2009, introduziu-se um aumento anual nas taxas de regressão da tarifa prêmio. Esta regressão dependeria da potência fotovoltaica anual instalada – percentuais previamente

estabelecidos sofreriam um acréscimo ou decréscimo de 1% de acordo com a FV instalada no ano em questão. O Quadro 5 mostra as tarifas prêmio praticadas na Alemanha, a partir desta revisão, e evidencia sua redução ao mostrar os valores da revisão até então vigente (2004).

	EEG 2004 €/kWh	EEG 2009 €/kWh
Sistemas < 30 kWp	0,4441	0,4301
Sistemas entre 30-100 kWp	0,4226	0,4091
Sistemas > 100 kWp	0,4179	0,3958
Sistemas > 1.000 kWp	0,4179	0,3300

Quadro 5: Redução das tarifas prêmio na Alemanha, de acordo com a revisão da EEG
Fonte: Salamoni, 2009

- Revisão do EEG (2012): Válida a partir de 01 de janeiro de 2012, esta revisão traz metas de inclusão de fontes renováveis de energia na matriz elétrica alemã (35% para 2020, 50% para 2030, 65% para 2040 e 80% para 2050), além de novamente revisar as tarifas prêmio, bem como as taxas de regressão anual, de acordo com as condições de mercado (FULTON E CAPALINO, 2012).

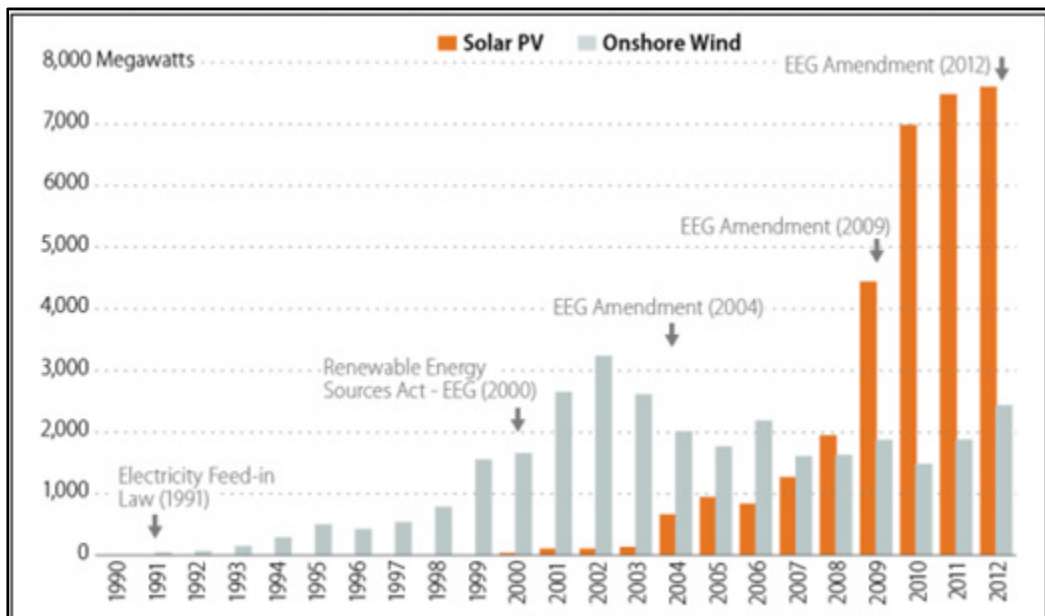


Figura 26: Adições anuais de capacidade fotovoltaica na Alemanha (1990 - 2012)
Fonte: Brown, 2013

O Quadro 6 evidencia as tarifas prêmio praticadas entre as revisões de 2009 e 2012, além de trazer projeções de valores futuros.

Ano de entrada no programa	Potência instalada			
	até 30 kWp	> 30 kWp a 100 kWp	> 100 kWp até 1.000 kWp	> 1.000 kWp
	Percentual de redução anual da tarifa-prêmio			
	-8% em 2009/2010, -9% a partir de 2011	-8% em 2009/2010, -9% a partir de 2011	-10% em 2009/2010, -9% a partir de 2011	-25% em 2009, -10% em 2010, -9% a partir de 2011
Tarifa-prêmio (centavos de euro por kWh gerado)				
2008	46,75	44,78	43,99	43,99
2009	43,01	40,91	39,58	33,00
2010	39,57	37,64	35,62	29,70
2011	36,01	34,25	32,42	27,03
2012	32,77	31,17	29,50	24,59
2013	29,82	28,36	26,84	22,38
2014	27,13	25,81	24,43	20,37
2015	24,69	23,49	22,23	18,53

Quadro 6: Tarifas-prêmio pagas a instalações fotovoltaicas integradas à rede elétrica pública na Alemanha

Fonte: MME, 2009

4.1.1. Normatização Alemã para a Conexão de Sistemas Fotovoltaicos à Rede

A normatização vigente na Alemanha para a conexão de sistemas fotovoltaicos à rede é baseada na norma “*Power generation systems connected to the low-voltage distribution network*”, publicada pelo DKE - *German Commission Electrical, Eletronic and Information Technologies*. Esta comissão é responsável pelo desenvolvimento de normas e regulamentações de segurança para as áreas elétrica, eletrônica e da tecnologia da informação em todo território alemão, além de representar os interesses alemães nas organizações internacionais de padronização de normas (*European Committee for Electrotechnical Standartization* - CENELEC e *International Electrotechnical Commission* – IEC). A Figura 28 ilustra a atuação desta comissão na criação de normas no cenário alemão e europeu.

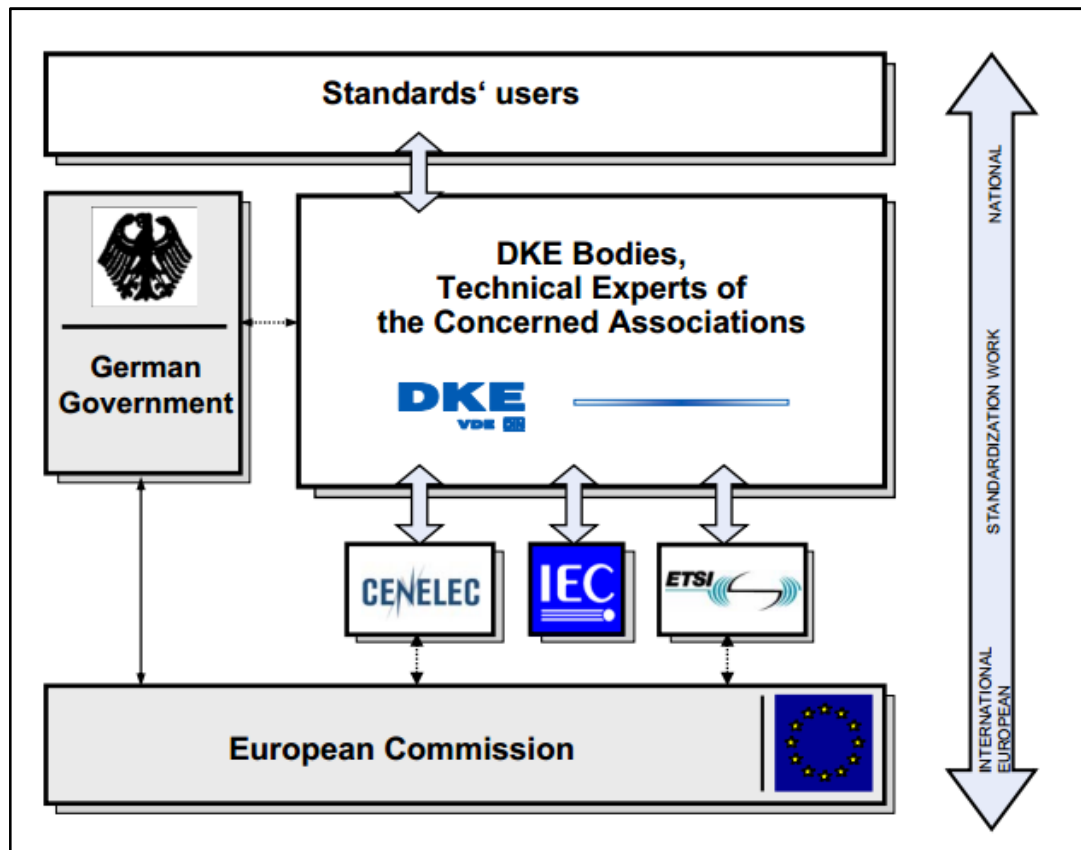


Figura 27: Papel do DKE na criação de normas no cenário alemão e europeu
Fonte: DKE

4.1.1.1. Aspectos burocráticos

Em vigência desde agosto de 2011, a norma alemã solicita uma série de documentos que devem ser considerados anteriormente à instalação, assim como acontece no Brasil com o PRODIST. A relação de documentos solicitada é apresentada na sequência.

- Documento denominado “Solicitação de Conexão à Rede”, no qual devem constar informações básicas, tais como endereço do sistema e data para conexão do sistema à rede.
- *Data sheets* de todos os equipamentos a serem utilizados no sistema.
- Certificado/teste de conformidade do sistema indicando que as características elétricas do sistema seguem o que é prescrito na norma em questão.
- Descrição dos dispositivos de proteção, bem como a apresentação de relatórios de testes dos mesmos;

- Diagrama completo do sistema de geração de energia indicando, principalmente, equipamentos de proteção e medição.

Um ponto levantado pela norma alemã, e não observado nas normatizações brasileiras, refere-se ao dia em que o sistema de geração paralela será conectado à rede (do inglês, *initial start-up*). Segundo o DKE (2011), esta data deve ser agendada com o operador do sistema elétrico com, no mínimo, uma semana de antecedência e deve seguir uma série de procedimentos visando à manutenção da segurança e dos parâmetros elétricos do sistema elétrico. Estes procedimentos tratam de uma inspeção final do sistema e da conferência de execução de aspectos levantados durante o projeto, sendo de responsabilidade mútua do proprietário e do operador do sistema.

4.1.1.1.1. Sistema de medição

Segundo o DKE (2011), a instalação e a operação de equipamentos de medição devem estar de acordo com o que exige o operador do sistema elétrico alemão, sendo que a mesmo só permite a utilização de medidores certificados pela Lei Alemã de Calibração (do inglês, *German Calibration Act*).

De modo a diferenciar a energia consumida da energia injetada na rede, é obrigatória a utilização de medidor bidirecional para sistemas com potência instalada superior a 100 kW. Para potências inferiores a este limiar, é permitida a utilização de dois medidores unidirecionais, sendo um para a medição da energia elétrica injetada e o outro para medição da energia elétrica consumida da rede.

Em relação às normas brasileiras, no que se refere aos sistemas de medição, a maior diferença encontrada na norma alemã está na necessidade da utilização de medidores de perfil de carga (do inglês, *load-profile meters*) para potências instaladas acima de 100 kW. Segundo Francisquini (2006), os perfis de carga representam o padrão de uso de energia elétrica de um determinado consumidor durante um determinado período de tempo – a Figura 29 mostra uma curva de perfil de carga ou, simplesmente, curva de carga.

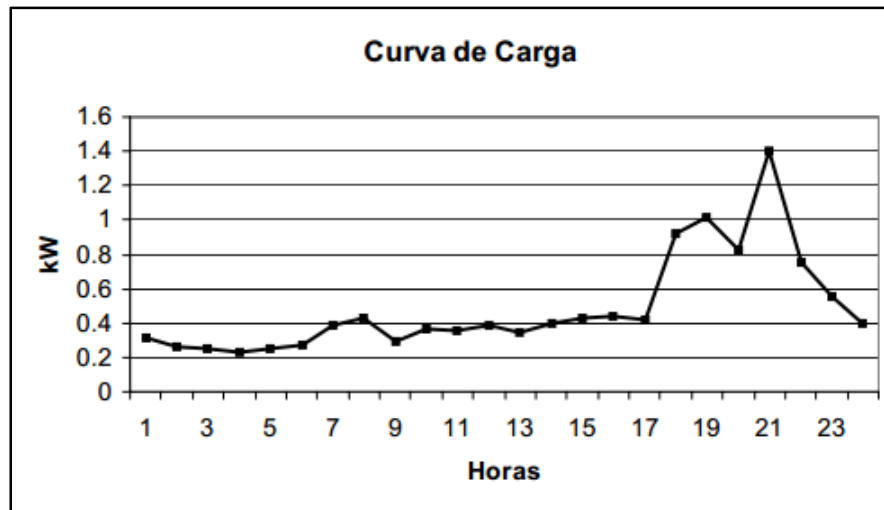


Figura 28: Curva de carga típica de um consumidor residencial
Fonte: Francisquini, 2006

De acordo com Santos et al. (2011), o levantamento das curvas de carga tem sido usado como solução de elevada eficiência e com um custo efetivo menor para a detecção de perdas de energia em um sistema.

4.1.1.2. Aspectos técnicos

Além dos aspectos burocráticos já levantados, destacam-se os aspectos técnicos relacionados à conexão da micro e minigeração em paralelo ao sistema de distribuição de energia elétrica. Conforme o DKE (2011), estes aspectos técnicos podem ser divididos em: operação, manutenção da qualidade de energia e proteção do sistema de geração e da rede.

4.1.1.2.1. Manutenção da qualidade de energia

- Tensão em regime permanente: a tensão no ponto de conexão pode variar em 3% quando comparada com a tensão em pontos sem a conexão de geradores em paralelo.
- Variação rápida de tensão: este critério refere-se quanto à conexão e desconexão dos sistemas em paralelo à rede de distribuição de energia, de modo a

evitar reações inadmissíveis. O valor limite de variação considerado é novamente 3% em relação ao valor nominal da rede.

- Flutuação de tensão (*flicker*): a norma trata apenas da severidade de longa duração (Plt) igual a 0,5. Não há citação em relação à severidade de curta duração (Pst).

- Variação de frequência: a frequência do sistema elétrico alemão é fixada em 50 Hz, desta forma, não há nenhuma restrição quando a geração em paralelo está entre 47,5 Hz e 50,2 Hz. Já para valores menores que 47,5 Hz e 51,5 Hz, deve ocorrer a desconexão do sistema em paralelo. Por fim, para o intervalo compreendido entre 50,2 Hz e 51,5 Hz o sistema deve reduzir a injeção de potência na rede.

- Injeção de potência na rede: conforme orientação do operador de sistema, o sistema de geração fotovoltaica, deve ser capaz de reduzir a potência ativa injetada na rede, sem efetuar a desconexão do sistema elétrico, em no máximo 1 minuto.

- Harmônicos: ao contrário do que se apresenta no Brasil, onde as normas tratam de limites de harmônicos de tensão, a norma alemã trata de valores máximos para harmônicos de corrente. Os valores são tratados no Quadro 7 – a coluna da direita representa a ordem dos harmônicos, sendo que a coluna da esquerda representa o valor máximo para o harmônico de corrente por MVA de potência do sistema de geração.

Ordinal number ν, μ	Permissible related harmonic current $i_{\nu\text{zul}}$ in A/MVA
3	3
5	1,5
7	1
9	0,7
11	0,5
13	0,4
17	0,3
19	0,25
23	0,2
25	0,15
$25 < \nu < 40^{\text{a}}$	$0,15 - 25/\nu$
Even	$1,5/\nu$
$\mu < 40$	$1,5/\nu$
$42 < \nu, \mu < 178^{\text{b}}$	$4,5/\nu$
^a Odd. ^b Integral and non-integral within a range of 200 Hz with the mid-band frequency ν . Measurement in accordance with DIN EN 61000-4-7 (0847-4-7.)	

Quadro 7: Taxas de harmônicos de corrente

Fonte: DKE, 2011

4.1.1.2.2. Proteção do sistema de geração e da rede

Para a ligação do sistema de geração de energia à rede de baixa tensão, é necessário utilizar uma chave de interface (do inglês, *interface switch*). Esta chave consiste em dispositivos de comutação elétrica construídos de forma redundante, sendo sua ação controlada por um equipamento denominado *NS protection (network and system protection)*. Tal equipamento deve ser testado e conter um certificado de conformidade, desconectando, quando necessário, o sistema de geração em paralelo em até 200 ms. As funções que, através de relés, devem estar implementadas são listadas no Quadro 8, juntamente com seus valores padrão de atuação.

Protective function		Protection relay setting values*	
Voltage drop protection	$U <$	$0,8 U_n$	< 100 ms
Rise-in-voltage protection	$U >$	$1,1 U_n^{**}$	< 100 ms
Rise-in-voltage protection	$U >>$	$1,15 U_n$	< 100 ms
Frequency decrease protection	$f <$	47,5 Hz	< 100 ms
Frequency increase protection	$f >$	51,5 Hz	< 100 ms

Quadro 8: Funções e valores padrão para configuração do NS protection
Fonte: DKE, 2011

Por fim, outra proteção que a norma alemã trata como fundamental é a proteção contra ilhamento. A detecção de uma rede de geração isolada e a posterior desconexão deste sistema, por meio do *interface switch*, deve estar concluída em no máximo 5 segundos. Para sistemas fotovoltaicos, segundo o DKE (2011), o método de detecção de ilhamento a ser utilizado é o método ativo de desvio de frequência (do inglês, *frequency shift active method*). Este método consiste em injetar no sistema uma componente de corrente de frequência ligeiramente superior à frequência da rede elétrica com o intuito de provocar uma possível alteração na frequência da tensão no ponto de conexão com a rede. Enquanto a rede estiver em funcionamento normal, as distorções introduzidas na corrente de saída do inversor não são percebidas pela rede. Se houver ilhamento, esta corrente distorcida faz a tensão no ponto de conexão sofrer distorções e cruzar o zero em um instante diferente do esperado, causando variações na frequência da rede. Essas modificações implicam em aumentos ou diminuições da frequência que, ao serem percebidas pelo detector do inversor, originam seu sinal de desligamento, desconectando-o da instalação elétrica e desligando seu sistema de controle de corrente (VILLALVA e GAZOLI, 2012).

4.1.1.2.3. Operação

- Ponto de conexão à rede: o operador da rede determina o ponto de conexão da rede para garantir a operação da rede com segurança, levando em consideração a potência instalada. De maneira geral, o ponto de conexão é o mesmo da unidade consumidora.

- Quedas e interrupções de tensão: caso o sistema de geração em paralelo seja sensível a quedas de tensão de curta duração ou interrupções em seu fornecimento, cabe ao cliente garantir a operação segura do sistema.
- Corrente de curto circuito: a contribuição dos sistemas de geração em paralelo para a corrente de curto circuito do sistema, quando da utilização de inversores, deve ser estimada em uma vez a corrente nominal do sistema de geração.
- Desconexão do sistema da rede: a desconexão do sistema de geração em paralelo da rede elétrica deve ocorrer quando houver qualquer risco à operação do sistema, tais como ilhamento, congestionamento ou sobrecarga na rede e perda de estabilidade do sistema elétrico de potência.
- Condições para conexão e sincronização do sistema à rede: o sistema de geração em paralelo só deve ser conectado à rede caso mantenha seus valores de tensão e frequência dentro dos limites aceitáveis por, no mínimo, 60 segundos. Os intervalos são $47,5 \text{ Hz} < f < 50,05 \text{ Hz}$ para a frequência e $85\% < U < 110\%$ para a tensão.

4.1.2. Comparação entre Normatização Alemã e Brasileira

Para a elaboração desta comparação, optou-se por eleger uma norma brasileira para ser comparada com a norma alemã. Para tal, dentre as concessionárias que apresentaram as normas mais completas, a que se caracteriza de maior interesse, pelo fator regional, é a COPEL.

A primeira diferença que se destaca no estudo das normas é que a COPEL define e regulamenta critérios para conexão às redes de baixa e média tensão, enquanto a VDE regulamenta apenas a conexão em baixa tensão. Além disso, a norma brasileira cria escalas em relação às potências instaladas (até 75 kW, entre 76 e 100 kW, entre 101 e 500 kW e entre 501 e 1000 kW) e, a partir destas, determinam-se os critérios necessários para a conexão. Já a norma alemã não faz distinções desta forma, sendo que apenas determina, item a item, como devem funcionar os sistemas fotovoltaicos.

Outro ponto relevante refere-se ao procedimento de solicitação de acesso. No Brasil, o PRODIST determina prazos mínimos longos e burocráticos, nos quais,

entre a Solicitação de Acesso e a efetivação da ligação à rede podem se passar 82 dias (vide Figura 24), enquanto a norma alemã requer apenas o envio da documentação e um agendamento com o operador da rede com uma semana de antecedência à data de ligação à rede para verificação de instalações.

Já em relação aos critérios técnicos levantados, a parte que mais se destaca na norma alemã é o tratamento dos dispositivos de proteção. Os mesmos podem ser centralizados e gerenciados em um equipamento denominado *NS protection*, sendo que as exigências expostas concentram-se na parametrização do mesmo. Tal proposição permite que os requisitos de proteção sejam apresentados de uma forma mais clara e com maior facilidade na aplicação

De maneira geral, percebe-se que as normas brasileiras apresentam mais requisitos técnicos do que a norma alemã. Todavia, a última é mais consistente, organizada e objetiva, sendo de melhor leitura e entendimento. Já as normas brasileiras, em muitos casos por determinação do PRODIST, possuem muitas classificações e pouca objetividade.

Entende-se, por fim, que a norma alemã já está em vigor há mais tempo, o que já permitiu um aperfeiçoamento maior da mesma. Este caminho também deve ser seguido pela normatização apresentada pelas concessionárias de energia elétrica do Brasil, visto que, conforme mais instalações forem conectadas à rede, maior será o aprimoramento das mesmas.

4.1.2.1. Possíveis melhorias na normatização Brasileira

Conforme citado, o aperfeiçoamento das normas brasileiras acontecerá de forma natural. Entretanto, seguindo objetivos deste trabalho, selecionaram-se duas possíveis melhorias.

A primeira afeta as diretrizes da ANEEL e diz respeito aos prazos mínimos de solicitações e liberações para conexão à rede, os quais devem ser menores. Hoje, a Alemanha possui a maior potência instalada em sistemas fotovoltaicos, pois investe em campanhas de incentivo financeiro e na praticidade da conexão à rede, de modo a facilitar a utilização das energias renováveis. Já no Brasil, o prazo permitido entre a solicitação do acesso, por parte do cliente, e a efetuação da ligação à rede, por parte da concessionária de energia elétrica, é de 82 dias (vide

Figura 24). Entretanto, caso o cliente opte por iniciar o processo com uma consulta de acesso e, após esta, a concessionária determinar quais obras são necessárias para atendê-la, o prazo total do processo pode se tornar maior que 1 ano.

Outra sugestão é a exigência de um dispositivo como o *NS protection*, centralizando os equipamentos de proteção. Atualmente, as normas brasileiras especificam uma série de equipamentos e os valores de suas parametrizações, mas não preveem como organizá-los de maneira prática.

4.1.3. Normatização Alemã para a Conexão de Sistemas Fotovoltaicos à Rede com *Backup* de Energia

Assim como a norma para conexão de geradores em paralelo ao sistema elétrico, trabalhada no tópico anterior, a norma para a utilização de baterias junto a estes geradores foi elaborada pelo DKE, publicada em Junho de 2013 e é denominada “*Connecting and operating storage units in low voltage networks*”.

Segundo o DKE (2013), os sistemas de armazenamento de energia podem auxiliar na redução das cargas na rede, em função do gerenciamento de carga no sistema do consumidor, na homogeneização do fluxo de carga, na manutenção dos níveis de tensão, através do controle de reativos, e na possibilidade de eliminar as necessidades de expansão da rede. Entretanto, a utilização destas baterias junto aos sistemas fotovoltaicos deve seguir uma série de critérios burocráticos e técnicos que serão considerados a seguir.

4.1.3.1. Aspectos burocráticos

Segundo o DKE (2013), são quatro as possibilidades de operação de um sistema de armazenamento de energia:

- unidade de armazenamento que não é “alimentada” pela rede;
- unidade de armazenamento que não “alimenta” a rede;
- unidade de armazenamento que é “alimentada” pela rede;
- unidade de armazenamento que “alimenta” a rede;

Sendo assim, conforme o DKE (2013), os documentos a seguir são fundamentais para registrar os diversos parâmetros que podem ser escolhidos, conforme a função a ser desempenhada pelas baterias.

- Descrição dos parâmetros definidos para atuação no fornecimento de energia elétrica da rede, conforme formulário exigido pelo operador do sistema;
- Descrição dos parâmetros definidos para atuação no consumo de energia elétrica da rede, conforme formulário exigido pelo operador do sistema;
- *Data sheets* dos equipamentos utilizados;
- Informações descrevendo o funcionamento do sistema de armazenamento de energia no que diz respeito à otimização de carga no sistema do usuário, à homogeneização do fluxo de carga na rede de baixa tensão (gerenciamento de carga) e ao auxílio na rede, mantendo níveis de tensão.
- Declaração de confiabilidade do sensor de direção do fluxo de energia (do inglês, *energy flow direction sensor – EFDS*).

4.1.3.1.1. Sistema de medição

Todas as especificações previstas na norma “*Power generation systems connected to the low-voltage distribution network*”, citada anteriormente, são válidas. Entretanto, frente à diversidade de modos de operação para os sistemas de armazenagem de energia, cabe atenção especial no que diz respeito à medição de energia elétrica consumida e injetada pelo consumidor.

Como exemplo, é possível citar as unidades de armazenamento que não devem alimentar a rede. Estas unidades não devem consumir energia elétrica da rede com o intuito de fornecê-la novamente à rede para receber benefícios financeiros previstos no EEG.

4.1.3.2. Aspectos técnicos

A primeira exigência técnica tratada pelo DKE (2013) diz respeito ao modo de funcionamento das baterias. Quando no modo de “consumo de energia”, a

unidade de armazenamento deve ser tratada, sob a perspectiva da rede, como um consumidor qualquer. Já quando operando no modo de “fornecimento de energia”, as baterias devem ser tratadas como qualquer outra planta de geração de energia elétrica. Os demais pontos levantados são listados a seguir:

- Injeção de potência na rede: deve ser limitada, no ponto de conexão, utilizando-se dois métodos. O primeiro sugere que os parâmetros do sistema sejam ajustados de modo que a injeção de potência na rede não ultrapasse seu limiar. Já o segundo método indica a utilização de sensores de monitoramento para controlar o equipamento e sua geração e energia elétrica.
- Proteção do sistema: para a utilização de sistemas de armazenagem de energia, todos os critérios levantados na norma “*Power generation systems connected to the low-voltage distribution network*” devem ser respeitados.
- Sobrefrequência: quando no modo de “fornecimento de energia”, as diretrizes da norma “*Power generation systems connected to the low-voltage distribution network*” são aplicáveis para redução de potência ativa em caso de elevação de frequência. A norma não cita nenhuma medida a ser tomada no caso de subfrequência.

4.1.4. Proposta para Regulamentação da Conexão de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede com Backup de Energia no Brasil

4.1.4.1. Escopo

Esta proposta visa sugerir critérios técnicos e operacionais para a instalação de SFCR com *backup* de energia no Brasil, tomando como referência as normas e diretrizes aplicadas na Alemanha. Entretanto, deve-se observar que são necessárias adaptações de acordo com critérios mínimos presentes no PRODIST e os interesses de funcionamento de cada concessionária de energia elétrica.

Caso haja alguma lacuna nesta proposição de norma, devem ser utilizadas as normatizações para sistemas fotovoltaicos conectados à rede sem *backup* de energia.

4.1.4.2. Aspectos burocráticos

O tipo de operação do sistema de armazenamento de energia deve ser definido conforme as seguintes opções:

- unidade de armazenamento que não é “alimentada” pela rede;
- unidade de armazenamento que não “alimenta” a rede;
- unidade de armazenamento que é “alimentada” pela rede;
- unidade de armazenamento que “alimenta” a rede;

Já os documentos, listados a seguir, são fundamentais para registrar os diversos parâmetros que podem ser escolhidos, de acordo com a forma de operação.

- Descrição dos parâmetros definidos para atuação no fornecimento de energia elétrica da rede, conforme formulário exigido pelo operador do sistema;
- Descrição dos parâmetros definidos para atuação no consumo de energia elétrica da rede, conforme formulário exigido pelo operador do sistema;
- *Data sheets* dos equipamentos utilizados;
- Informações descrevendo o funcionamento do sistema de armazenamento de energia no que diz respeito à otimização de carga no sistema do usuário, à homogeneização do fluxo de carga na rede de baixa tensão (gerenciamento de carga) e ao auxílio na rede, mantendo níveis de tensão.
- Declaração de confiabilidade do sensor de direção do fluxo de energia (do inglês, *energy flow direction sensor* – EFDS).
- Certificado/teste de conformidade do sistema indicando que as características elétricas do sistema seguem o que é prescrito na norma “*Power generation systems connected to the low-voltage distribution network*”.
- Descrição dos dispositivos de proteção, bem como a apresentação de relatórios de testes dos mesmos;
- Diagrama completo do sistema de geração de energia indicando, principalmente, equipamentos de proteção e medição.
- Documento denominado “Solicitação de Conexão à Rede”, no qual devem constar informações básicas, tais como endereço do sistema e data para conexão do sistema à rede.

Com o fornecimento de toda esta documentação, a data em que o sistema de geração em paralelo com armazenamento de energia elétrica deve ser

agendada, com o operador do sistema, com no mínimo sete dias de antecedência. Tal agendamento é necessário para que ocorra uma inspeção final do SFVCR com *backup* de energia.

4.1.4.3. Sistema de medição

Dada a importância do controle das variáveis do sistema fotovoltaico, determina-se que apenas medidores homologados pelo INMETRO e pela concessionária da região devem poder ser utilizados.

Os dispositivos exigidos para cada sistema, de acordo com potência de geração, são:

- Potência instalada < 100 kW: dois medidores unidirecionais, ou um medidor bidirecional.
- Potência instalada > 100 kW: medidor Bidirecional, e medidor de perfil de carga.

4.1.4.4. Aspectos técnicos e operacionais

4.1.4.4.1. Ponto de conexão

O ponto de conexão à rede deve ser determinado pela concessionária, visando garantir a operação da rede com segurança.

4.1.4.4.2. Tensão de conexão

Para fins de definição da tensão de conexão da central de mini e microgeração distribuída devem ser consideradas as faixas de potência indicadas no Quadro 9, o qual é baseado no PRODIST.

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

Quadro 9: Proposição do nível de tensão de conexão conforme potência instalada
Fonte: ANEEL, 2012

4.1.4.4.3. Requisitos mínimos de proteção do sistema de geração e da rede elétrica

Para a proteção do sistema e da rede da distribuidora de energia elétrica, escolheu-se por indicar a utilização do que é previsto na norma alemã “*Power generation systems connected to the low-voltage distribution network*”. Tal escolha justifica-se pela concentração de toda a proteção necessária em um só equipamento, denominado *NS protection*. Este equipamento é responsável por controlar uma chave de interface, a qual consiste em um dispositivo de comutação elétrica construído de forma redundante e é responsável pela desconexão do sistema à rede, e os relés de proteção, cujas funções e parametrizações são descritas no Quadro 10.

Função de Proteção	Valores dos Relés de Proteção	
Proteção contra queda de tensão $U<$	$0,8 U_n$	< 100 ms
Proteção contra elevação de tensão $U>$	$1,1 U_n$	< 100 ms
Proteção contra elevação de tensão $U>>$	$1,15 U_n$	< 100 ms
Proteção contra aumento de frequência $f>$	51,5 Hz	< 100 ms

Quadro 10: Proposição de funções e valores padrão para configuração do *NS protection*
Fonte: DKE, 2011

Outra proteção que a norma alemã trata como fundamental é a proteção contra ilhamento. A detecção de uma rede de geração isolada e a posterior desconexão deste sistema, por meio do *interface switch*, deve estar concluída em no máximo 5 segundos.

Por fim, destaca-se que as concessionárias de energia elétrica podem propor proteções adicionais em função de características específicas do sistema de distribuição acessado.

4.1.4.4. Critérios para operação

Este tópico visa dar as diretrizes de como proceder em diferentes pontos e situações:

- Caso o sistema de geração em paralelo seja sensível a quedas de tensão de curta duração ou interrupções em seu fornecimento, o cliente deve garantir operação segura do sistema.
- A contribuição do sistema de geração para a corrente de curto circuito deve ser de uma vez a corrente nominal do sistema de geração.
- O sistema de geração deve ser desconectado da rede sempre que houver qualquer risco de operação como ilhamento, congestionamento ou sobrecarga e perda de estabilidade da rede.
- Para sincronização com a rede os valores de tensão e frequência devem ser mantidos dentro dos limites estipulados por, no mínimo, 60 segundos.

4.1.4.5. Manutenção da qualidade de energia

De modo a garantir a qualidade da energia elétrica, nesta proposição de norma os valores de referência tomados como base são os constantes no PRODIST, visto que já estão adequados à realidade brasileira.

- Tensão em regime permanente: a Tabela 1 e a Tabela 2 evidenciam os valores de referência para a tensão em regime permanente, de acordo com a tensão de conexão.

Tabela 6: Proposição de valores de referência para pontos de conexão com tensão igual ou inferior a 1 kV

Tensão de atendimento	Faixa de Variação
Adequada	$0,91V_n \leq V \leq 1,05V_n$
Precária	$0,85V_n \leq V < 0,91V_n$ ou $1,05V_n \leq V < 1,06V_n$
Crítica	$V < 0,85V_n$ ou $V > 1,06V_n$

Fonte: ANEEL, 2012

Tabela 7: Proposição de valores de referência para pontos de conexão com tensão superior a 1 kV e inferior a 69 kV

Tensão de atendimento	Faixa de Variação
Adequada	$0,93V_n \leq V \leq 1,05V_n$
Precária	$0,90V_n \leq V < 0,93V_n$
Crítica	$V < 0,90V_n$ ou $V > 1,05V_n$

Fonte: ANEEL, 2012

- Desequilíbrio de tensão: valor limitado a 2%.
- Variação de frequência:
 - $59,9 \text{ Hz} < f < 60,1 \text{ Hz}$: limites normais de operação.
 - $59,5 \text{ Hz} < f < 60,5 \text{ Hz}$: sistema reduz injeção de potencia na rede.
 - $f > 62,0 \text{ Hz}$ por 30 segundos: desconexão do sistema em paralelo.
 - $f > 63,5 \text{ Hz}$ por 10 segundos: desconexão do sistema em paralelo.
 - $f < 58,5 \text{ Hz}$ por 10 segundos: desconexão do sistema em paralelo.
 - $f < 57,5 \text{ Hz}$ por 5 segundos: desconexão do sistema em paralelo.
- Flutuação de tensão: os valores de referência para PstD95% e PltS95% são mostrados na Tabela 8.

Tabela 8: Proposição de valores de referência para PstD95% e PltS95%

Valor de Referência	PstD95%	PltS95%
Adequado	< 1 p.u.	< 0,8 p.u.
Precário	1 p.u. – 2 p.u.	0,8 p.u. – 1,6 p.u.
Crítico	> 2 p.u.	> 1,6 p.u.

Fonte: ANEEL, 2012

- fator de potência: Para unidade consumidora ou conexão entre distribuidoras com tensão inferior a 230 kV, o fator de potência no ponto de conexão deve estar compreendido entre 0,92 e 1,00 indutivo ou 1,00 e 0,92 capacitivo, de acordo com regulamentação vigente.
- harmônicos: os valores de referência para as distorções harmônicas totais estão indicados na Tabela 9.

Tabela 9: Valores de referência globais das distorções harmônicas totais

Tensão nominal de barramento	Distorção Harmônica Total de Tensão (%)
$V \leq 1 \text{ kV}$	10
$1 \text{ kV} \leq V \leq 13,8 \text{ kV}$	8
$13,8 \text{ kV} \leq V \leq 69 \text{ kV}$	6
$69 \text{ kV} \leq V \leq 230 \text{ kV}$	3

Fonte: ANEEL, 2012

4.1.4.5. Considerações finais desta proposição

Esta proposta é de origem acadêmica, feita como parte dos objetivos do Trabalho de Conclusão de Curso de alunos de Engenharia Elétrica. A mesma é baseada em documentos e normas oficiais, sendo, portanto, um estudo válido para auxiliar em futuras proposições de normas. Entretanto, vale ressaltar que não houve oportunidade de testar essas normas na prática, sendo que este trabalho é estritamente de cunho teórico, ou seja, não há garantias ou certificações de funcionamento dos aspectos técnicos aqui levantados.

5. CONCLUSÃO

Por meio das pesquisas realizadas, foi possível concluir que a crescente demanda por energia elétrica, bem como a crescente pressão por um desenvolvimento sustentável, incentiva a geração de energia através das denominadas “fontes limpas de energia”, dentre elas a energia solar fotovoltaica.

Os sistemas fotovoltaicos podem ser divididos em dois ramos: isolados (SFVI) ou conectados à rede (SFVCR), com ou sem *backup* de energia. Cada um apresenta suas peculiaridades, sendo o isolado aplicado em regiões afastadas, onde não há fornecimento de energia elétrica e em algumas aplicações específicas, como por exemplo, sinalização de trânsito, bombas de irrigações e para alguns bens de consumo. Já o SFVCR pode ser aplicado diretamente no ponto de consumo, pois deve ser conectado em paralelo com a rede de distribuição de energia elétrica, sendo visto como um exemplo de Geração Distribuída.

A Geração Distribuída, que se caracteriza como a produção de eletricidade próxima ao consumo, dispensando a linha de transmissão e os complexos sistemas de distribuição, é uma realidade em países da Europa, como Alemanha, Itália e Espanha. Seguindo esta tendência internacional, o governo brasileiro, na figura da ANEEL, publicou a Resolução Normativa Nº482 solicitando que as distribuidoras de energia elétrica disponibilizassem normas para permitir o acesso da micro e da minigeração distribuída à sua rede.

Frente à solicitação da ANEEL, as concessionárias deveriam, até meados do fim do ano de 2012, disponibilizar em seus endereços eletrônicos todo este material técnico. Embora, até o mês de Setembro do ano de 2013, quando da realização desta pesquisa, nem todas as concessionárias tenham atendido a solicitação da ANEEL, este trabalho reuniu as informações disponibilizadas por 42 concessionárias de energia elétrica, de modo a compará-las, verificando semelhanças e diferenças.

De uma maneira geral, critérios técnicos e de manutenção da qualidade de energia convergem em torno do PRODIST, sendo que as diferenças mais evidentes concentram-se na adoção, por parte de algumas concessionárias, de proteções adicionais em relação ao exigido pelo mesmo PRODIST. Os resultados apresentam-se, na íntegra, em forma de tabela, no Apêndice A, e podem servir como referência para instalações de sistemas fotovoltaicos em todo território nacional.

Levantados os critérios no cenário nacional, este trabalho se voltou ao estudo das normas para a conexão de sistemas fotovoltaicos à rede na Alemanha, país com maior capacidade fotovoltaica instalada – posição alcançada devido à financiamentos de programas que incentivavam o uso de energia solar e à premiação aos investidores, por meio do sistema tarifário *feed in*. Sendo assim, o estudo permitiu comparar as normas nacionais com as melhores práticas internacionais, concluindo-se que a norma alemã é mais objetiva e organizada, o que facilita a leitura e o entendimento dos critérios solicitados. As normas brasileiras se apresentam de forma longa e com menor objetividade.

Outro ponto fundamental, quando do estudo da norma alemã, foi a constatação de uma das premissas deste trabalho: a existência de regulamentação para a utilização de sistemas fotovoltaicos conectados à rede com *backup* de energia. Através do estudo desta regulamentação e da realização de adequações, devido a critérios regionais, como frequência de operação do sistema, foi possível realizar uma proposição para que a regulamentação nacional também atenda a esta modalidade de conexão em um futuro próximo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AES ELETROPAULO, 2012. **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.** Disponível em: <<https://www.aeseletropaulo.com.br/padroes-e-normas-tecnicas/geradores-de-energia/Paginas/Mini-e-Micro-Gera%C3%A7%C3%A3o.aspx>>. Acesso em: 22 de agosto de 2013.

AES SUL, 2012. **NTD 014.011 – Conexão de minigeração e microgeração distribuída.** Disponível em: <https://www.aessul.com.br/site/informacoes/Normas.aspx?categoriald=103&#box02_ancora>. Acesso em: 22 de agosto de 2013.

AMPLA, 2012. **Conexão de acessante a rede de distribuição com sistema de compensação de energia - geração distribuída.** Disponível em: <<http://www.ampla.com/media/273399/eta.pdf>>. Acesso em: 17 de agosto de 2013.

ANEEL, 2000. **Resolução Normativa nº 21 de 21 de janeiro de 2012.** Estabelece os requisitos necessários à qualificação de centrais cogeneradoras de energia e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/res2000021.pdf>>. Acesso em: 08 de agosto de 2013.

ANEEL, 2002. **Atlas de Energia elétrica no Brasil.** 2ª edição. Disponível em: <www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/livro_atlas.pdf>. Acesso em: 7 de Março de 2013.

ANEEL, 2011. Chamada nº 013 de agosto de 2011. **Projeto Estratégico: “Arranjos técnicos e comerciais para inserção da geração solar fotovoltaica na matriz energética brasileira”.** Disponível em: <www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/PeD_2011-ChamadaPE13-2011.pdf>. Acesso em: 17 de janeiro de 2013.

ANEEL, 2012. **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, os sistemas de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Disponível em: <www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 17 de janeiro de 2013.

ANEEL, 2012. **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. Disponível em: <www.aneel.gov.br/cedoc/ren2012517.pdf>. Acesso em: 19 de novembro de 2013.

ANEEL, 2012. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=82&idPerfil=2>>. Acesso em: 17 de agosto de 2013.

ASTRO REI. Fotovoltaicos. **Astro Rei**. 2010. Disponível em: <<http://www.astrorei.com/fotovoltaico.html>>. Acesso em: 3 de agosto de 2013.

BARBOSA, E.; SILVA, D.; MELO, R. **Sistema fotovoltaico conectados à rede com baterias: sistema UFPE-Brasil**. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Argentina, v.11, 2007.

BARBOSA, E.; VILELA, O.; FRAIDENRAICH, N.; TIBA, C. **Panorama do desenvolvimento tecnológico e mercado de módulos fotovoltaicos**. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Argentina, v.16, 2012.

BARTHOLOMEU, D. B.; CAIXETA-FILHO, J. V. **Logística Ambiental de Resíduos Sólidos**. São Paulo: Editora Atlas, 2011.

BENEDITO, R. S. **Caracterização da geração distribuída de eletricidade por meio de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, no Brasil, sob os aspectos técnico, econômico e regulatório**. 2009. 110 f. Tese (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo. 2009.

BP, 2013. **BP Statistical Review of World Energy**. June 2013. Disponível em: <http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/statistical-review/statistical_review_of_world_energy_2013.pdf>. Acesso em: 10 de agosto de 2013.

BRAGANTINA, 2013. **Norma Técnica de Distribuição NTD013 – Conexão de geração ao sistema de distribuição em baixa tensão**. Disponível em: <<http://www.bragantina.com.br/files/2012/06/NTD-013-Micro-Gera%C3%A7%C3%A3o-Distribuida.pdf>>. Acesso em: 17 de agosto de 2013.

BRAGANTINA, 2013. **Norma Técnica de Distribuição NTD013 – Conexão de geração ao sistema de distribuição em média tensão.** Disponível em: <<http://www.bragantina.com.br/files/2012/06/NTD-014-Mini-Gera%C3%A7%C3%A3o-Distribuida.pdf>>. Acesso em: 17 de agosto de 2013.

BROWN, P. **European union wind and solar electricity policies: overview and considerations.** CRS report for congress, 2013.

CAIUÁ, 2012. **Norma técnica de distribuição NTD - 013.** Disponível em: <<http://www.redenergia.com/caiua/files/2012/12/NTD-013-Micro-Gera%C3%A7%C3%A3o-Distribuida.pdf>>. Acesso em: 19 de Agosto de 2013.

CAIUÁ, 2012. **Norma técnica de distribuição NTD - 014.** Disponível em: <<http://www.redenergia.com/caiua/files/2012/12/NTD-014-Mini-Gera%C3%A7%C3%A3o-Distribuida.pdf>>. Acesso em: 19 de Agosto de 2013.

CÂMARA, C. F. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica.** 2011. 67p. Tese (Pós-Graduação em Fontes Alternativas de Energia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2011.

CEB, 2012. **Requisitos para a conexão de acessantes ao sistema de distribuição CEB-D – Conexão em baixa e média tensão.** Disponível em: <<http://www.ceb.com.br/index.php/component/phocadownload/category/19-secao-06?download=385:requisitos-para-a-conexao-de-acessantes-ao-sistema-de-distribuicao-ceb-d-conexao-em-baixa-e-media-tensao>>. Acesso em: 23 de Agosto de 2013.

CEEE, 2012. **Acesso de micro e minigeração com fontes renováveis e cogeração qualificada ao sistema de distribuição.** Disponível em: <<http://www.ceee.com.br/PPortal/CEEE/Archives/Download/Padrao%20Tecnico/NTD-00.081%20Acesso%20de%20micro%20e%20mini%20gera%C3%A7%C3%A3o%20com%20fontes%20renov%C3%A1veis%20e%20cogera%C3%A7%C3%A3o%20qualificada%20ao%20SD.pdf>>. Acesso em: 23 de Agosto de 2013.

CELESC, 2013. **Requisitos para a Conexão de Micro ou Mini Geradores de Energia ao Sistema Elétrico da Celesc Distribuição.** Disponível em: <<http://celesc.com.br/portal/images/arquivos/normas/normativa%20micro-mini%20gerao.pdf>>. Acesso em: 01 de Setembro de 2013.

CELPA, 2013. **Conexão de microgeração distribuída ao sistema de baixa tensão.** Disponível em < <http://www.celpe.com.br/wp-content/uploads/2013/03/NTD->

26-Conex%C3%A3o-de-Microgera%C3%A7%C3%A3o-Distribu%C3%ADda-ao-Sistema-de-Baixa-Tens%C3%A3o4.pdf>. Acesso em: 17 de agosto de 2013.

CELPA, 2013. **Conexão de minigeração distribuída ao sistema de média tensão.** Disponível em < <http://www.celpe.com.br/wp-content/uploads/2013/03/NTD-27-Conex%C3%A3o-de-Minigera%C3%A7%C3%A3o-Distribu%C3%ADda-ao-Sistema-de-M%C3%A9dia-Tens%C3%A3o3.pdf>>. Acesso em: 17 de agosto de 2013.

CELPE, 2012. **Conexão de microgeradores ao sistema de distribuição de baixa tensão.** Disponível em: <http://servicos.celpe.com.br/Media/pdf/normas-padroes/VM02.00-00.004_1_edicao.pdf>. Acesso em: 23 de agosto de 2013.

CELPE, 2012. **Conexão de minigeradores ao sistema de distribuição de média tensão.** Disponível em: <http://servicos.celpe.com.br/Media/pdf/normas-padroes/VM02.00-00.005_1_edicao.pdf>. Acesso em: 23 de agosto de 2013.

CELTINS, 2012. **NTD 18 – Acesso de geração distribuída ao sistema de distribuição da CELTINS.** Disponível em: <<http://www.redenergia.com/celtins/files/2012/06/NTD-18-ACESSO-DE-GERA%C3%87%C3%83O-DISTRIBUIDA-AO-SISTEMA-DE-DISTRIBU%C3%8D%C3%87%C3%83O-DA-CELTINSMICROGERA%C3%87%C3%83O.pdf>>. Acesso em: 19 de Agosto de 2013.

CELTINS, 2012. **NTD 19 – Acesso de geração distribuída ao sistema de distribuição da CELTINS.** Disponível em: <<http://www.celtins.com.br/files/2012/12/NTD-19-REQUISITOS-PARA-ACESSO-E-CONEX%C3%83O-DE-GERA%C3%87%C3%83O-DISTRIBU%C3%8DDA-AO-SISTEMA-DE-DISTRIBUI%C3%87%C3%83O-DE-M%C3%89DIA-TENS%C3%83O-MINIGERA%C3%87%C3%83O.pdf>>. Acesso em: 19 de Agosto de 2013.

CEMAR, 2012. **Conexão de microgeração distribuída ao sistema de baixa tensão.** Disponível em: <http://www.mzweb.com.br/cemar/web/download_arquivos.asp?id_arquivo=2E919586-3772-4228-AFE0-7CBB485CA90F>. Acesso em: 23 de agosto de 2013

CEMAR, 2012. **Conexão de minigeração distribuída ao sistema de média tensão.** Disponível em: <http://www.mzweb.com.br/cemar/web/download_arquivos.asp?id_arquivo=87822E48-AC78-4D0F-B1B9-74A0F4A64377>. Acesso em: 23 de agosto de 2013

CEMAT, 2012. **Requisitos para acesso e conexão de geração distribuída ao sistema de distribuição de CEMAT.** Disponível em: <<http://www.cemat.com.br/files/2012/06/NTE-041-CONEX%C3%83O-DE-GERA%C3%87%C3%83O-DISTRIBU%C3%8DDA-EM-BAIXA-TENS%C3%83O-2a-edi%C3%A7%C3%A3o-1.pdf>>. Acesso em: 20 de Agosto de 2013.

CEMAT, 2012. **Requisitos para acesso e conexão de geração distribuída ao sistema de distribuição de CEMAT.** Disponível em: <<http://www.cemat.com.br/files/2012/12/NTE-042-CONEXAO-DE-GERACAO-DISTRIBUIDA-EM-MEDIA-TENSAO.pdf>>. Acesso em: 20 de Agosto de 2013.

CEMIG, 2012. **Requisitos para a conexão de acessantes ao sistema de distribuição CEMIG – Conexão em baixa tensão.** Disponível em: <http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/corporativo/Documents/ND-5_30_Requisitos%20para%20a%20conex%C3%A3o%20de%20Acessantes%20ao%20Sistema%20de%20Distribui%C3%A7%C3%A3o%20Cemig%20%20Conex%C3%A3o%20em%20Baixa%20Tens%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 22 de Agosto de 2013.

CEMIG, 2012. **Requisitos para a conexão de acessantes ao sistema de distribuição CEMIG – Conexão em média tensão.** Disponível em: <http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/corporativo/Documents/nd_5_31.pdf>. Acesso em: 22 de Agosto de 2013.

CFLO, 2012. **Norma técnica de distribuição NTD - 013.** Disponível em: <<http://www.cflo.com.br/files/2012/12/NTD-013-Micro-Gera%C3%A7%C3%A3o-Distribuida.pdf>>. Acesso em: 20 de Agosto de 2013.

CFLO, 2012. **Norma técnica de distribuição NTD - 014.** Disponível em: <<http://www.cflo.com.br/files/2012/12/NTD-014-Mini-Gera%C3%A7%C3%A3o-Distribuida.pdf>>. Acesso em: 20 de Agosto de 2013.

COELBA, 2012. **Conexão de microgeração distribuída ao sistema de baixa tensão.** Disponível em: <http://servicos.coelba.com.br/Media/pdf/SM04.14_01_011_21_12_12.pdf>. Acesso em: 23 de agosto de 2013

COELBA, 2012. **Conexão de minigeração distribuída ao sistema de média tensão.** Disponível em: <http://servicos.coelba.com.br/Media/pdf/SM04.08_01.009_21_12_12.pdf>. Acesso em: 23 de agosto de 2013

COELCE, 2012. **Norma Técnica NT010/2013 – Conexão de micro e minigeração distribuída ao sistema elétrico da COELCE.** Disponível em: <https://www.coelce.com.br/media/77439/nt-010_r-00_copianaocontrolada.pdf>. Acesso em: 21 de agosto de 2013

COPEL, 2012. **Manual de acesso de geração distribuída ao sistema da COPEL.** Disponível em: <[http://www.copel.com/hpcopel/root/pagcopel2.nsf/0/880D53F548FB31A0032578100063EE21/\\$FILE/NTC905100.pdf](http://www.copel.com/hpcopel/root/pagcopel2.nsf/0/880D53F548FB31A0032578100063EE21/$FILE/NTC905100.pdf)>. Acesso em: 23 de Agosto de 2013.

COSTA, H. S. **A hora e a vez da geração distribuída de eletricidade.** Disponível em: <<http://www.consciencia.net/a-hora-e-a-vez-da-geracao-distribuida-de-eletricidade/>>. Acesso em: 02 de agosto de 2013.

COSERN, 2012. **Conexão de microgeradores ao sistema de distribuição de baixa tensão da COSERN.** Disponível em: <http://www.cosern.com.br/ARQUIVOS_EXTERNOS/Conex%C3%A3o%20de%20Microgeradores%20ao%20Sistema%20de%20Distribui%C3%A7%C3%A3o%20de%20Baixa%20Tens%C3%A3o%20da%20Cosern;;20121214.pdf>. Acesso em: 23 de agosto de 2013.

COSERN, 2012. **Conexão de minigeradores ao sistema de distribuição de média tensão da COSERN.** Disponível em: <http://www.cosern.com.br/ARQUIVOS_EXTERNOS/Conex%C3%A3o%20de%20Minigeradores%20ao%20Sistema%20de%20Distribui%C3%A7%C3%A3o%20da%20Cosern;;20130225.pdf>. Acesso em: 23 de agosto de 2013.

CPFL ENERGIA, 2012. **Conexão de micro e minigeração distribuída sob sistema de compensação de energia.** Disponível em: <<http://www.cpfl.com.br/LinkClick.aspx?fileticket=KOzl6croB2k%3D&tabid=1417&mid=2064>>. Acesso em: 17 de agosto de 2013.

CRESESB. **Energia Solar Princípios e Aplicações. CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito.** 2006. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?link=/tutorial/tutorial_solar.htm>. Acesso em: 03 de agosto de 2013.

DIAS, R. **Gestão ambiental. Responsabilidade Social e Sustentabilidade!** Editora Atlas. 2005.

DKE, 2011. ***Power generation systems connected to the low-voltage distribution network: technical minimum requirements for the connection to***

and parallel operation with low-voltage distribution networks. Disponível em: <<https://www.vde.com/de/InfoCenter/Seiten/Details.aspx?eslShopItemID=0d65ed5e-83c9-4d84-af92-356f06b66f8b>>. Acesso em: 14 de janeiro de 2014.

DKE, 2013. **Connecting and operating storage units in low voltage units.** Disponível em: <http://www.vde.com/en/fnn/Documents/FNN_Connecting-operating-storage-units-in-low-voltage-networks_2013-06.pdf>. Acesso em: 14 de janeiro de 2014.

EDP, 2012. **Conexão de microgeradores ao sistema de distribuição em baixa tensão.** Disponível em: <<http://www.energiasdobrasil.com.br/energia/aplicacoes/news/03sql07/inc/arquivo.asp?Arquivold=%7BFCEC803D-8BD1-454C-8F22-3241669B5DAE%7D&arquivo=1>>. Acesso em: 23 de agosto de 2013

EDP, 2012. **Conexão de mini e microgeradores ao sistema de distribuição em média tensão.** Disponível em: <<http://www.energiasdobrasil.com.br/energia/aplicacoes/news/03sql07/inc/arquivo.asp?Arquivold=%7B96266BDE-0F04-48B1-B866-670AC225A049%7D&arquivo=1>>. Acesso em: 23 de agosto de 2013

ELEKTRO, 2012. **ND.65 - Conexão de geradores em paralelo com o sistema de distribuição de média tensão da Elektro.** Disponível em: <http://www2.elektro.com.br/novo_site_servicos/isosystem/documentos_consulta2.asp?id=35&logo=33>. Acesso em: 17 de agosto de 2013.

ELEKTRO, 2012. **Norma ND.64: Conexão entre microgeração distribuída em baixa tensão e a rede de distribuição da ELEKTRO.** Disponível em: <http://www2.elektro.com.br/novo_site_servicos/isosystem/documentos_consulta2.asp?id=35&logo=33>. Acesso em: 17 de agosto de 2013.

ENERGIA DO SOL. EnergiaDoSol.net. **EnergiaDoSol.** 2013. Disponível em: <<http://www.energiadosol.net/v2/sistema-conectado.html>>. Acesso em: 04 de agosto de 2013.

Energias Renováveis no Brasil. *Ministério das Minas e Energia.* Disponível em: <http://www.mme.gov.br/programas/proinfa/menu/programa/Energias_Renovaveis.html>. Acesso em: 01 de março de 2013.

ENERGISA, 2012. **Norma de distribuição unificada NDU013 – Critérios para a conexão de acessantes de geração distribuída ao sistema de distribuição da ENERGISA – conexão em baixa tensão.** Disponível em:

<http://www.energisa.com.br/borborema/doc%20e%20pdf/Normas_Tecnicas/ndu013.pdf>. Acesso em: 21 de agosto de 2013.

ENERGISA, 2012. **Norma de distribuição unificada NDU015 – Critérios para a conexão de acessantes de geração distribuída ao sistema de distribuição da ENERGISA – conexão em média tensão.** Disponível em: <http://www.energisa.com.br/borborema/doc%20e%20pdf/Normas_Tecnicas/ndu015.pdf>. Acesso em: 21 de agosto de 2013.

ENERSUL, 2012. **Conexão de microgeradores ao sistema de distribuição de baixa tensão.** Disponível em: <http://www.enersul.com.br/files/2012/12/ENERSUL-GD-BT_R1-121212-VF.pdf>. Acesso em: 20 de Agosto de 2013.

ENERSUL, 2012. **Conexão de minigeradores ao sistema de distribuição de média tensão.** Disponível em: <http://www.enersul.com.br/files/2012/12/ENERSUL-GD-MT-_R1-121212-VF.pdf>. Acesso em: 20 de Agosto de 2013.

EPE, 2011. Nota Técnica DEA 16/11 (dezembro/2011). **Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2012-2021).** Disponível em: <www.epe.gov.br/default.aspx>. Acesso em: 22 de janeiro de 2013.

EPE, 2013. **BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL 2013 - Ano base 2012.** 2013. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Resultados_Pre_BEN_2013.pdf>. Acesso em: 30 de junho de 2013.

EPIA, 2013. **GLOBAL MARKET OUTLOOK For Photovoltaics 2013-2017.** Disponível em: <http://www.epia.org/fileadmin/user_upload/Publications/GMO_2013_-_Final_PDF.pdf>. Acesso em: 06 de agosto de 2013.

EUROPEAN COMMISSION, 2012. **European Solar Test Installation. Solar radiation and photovoltaic electricity potential country and regional maps for Europe.** Disponível em: http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmmaps/eu_cmsaf_opt/G_opt_DE.pdf. Acesso em: 07 de janeiro de 2014.

ExxonMobil Corporation, 2013. **2013 – The Outlook for Energy: A View to 2040.** Disponível em: <http://www.exxonmobil.com/corporate/files/news_pub_eo2013.pdf>. Acesso em: 19 de novembro de 2013.

FAPESP, 2007. **Um futuro com energia sustentável: iluminando o caminho.** Disponível em < <http://www.fapesp.br/publicacoes/energia.pdf>>. Acesso em: 24/07/2013.

FARIAS, M. L.; SELITTO, M. A. **Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras.** Revista Liberato, Novo Hamburgo, v. 12, n. 17, p. 01-106, janeiro/junho 2011.

FILHO, A. V. **Energia Elétrica no Brasil: Contexto Atual e Perspectivas.** Disponível em: <<http://interessenacional.uol.com.br/2013/04/energia-eletrica-no-brasil-contexto-atual-e-perspectivas/>>. Acesso em: 29 de junho de 2013.

FRANCISQUINI, A. A. **Estimação de curvas de carga em pontos de consumo em em transformadores de distribuição.** 2006. 108p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira. 2006.

FULTON, M.; CAPALINO, R. **“The German feed-in tariff: recent policy changes”.** *Deutsche Bank Group Climate Change Advisors*, 2012.

GASPARETTO JUNIOR, A. **Crise do Petróleo.** Disponível em: <<http://www.infoescola.com/economia/crise-do-petroleo/>>. Acesso em: 23 de fevereiro de 2013.

GAVRONSKI, J. D. **Carvão Mineral e as Energias Renováveis no Brasil.** 2007. 291p. Tese (Doutorado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2007.

GOLDEMBERG, J. **Uma avaliação da Rio+20.** Disponível em: < <http://www.estadao.com.br/noticias/impreso,uma-avaliacao--da-rio20-,887696,0.htm>>. Acesso em: 28 de julho de 2013.

GOLDSTEIN, Ilana. **Responsabilidade social: das grandes corporações ao terceiro setor.** São Paulo, Ática, 2007.

IEA, 2013. **2013 Key World Energy STATISTICS.** Disponível em: < http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2013_FINAL_WEB.pdf>. Acesso em: 20 de novembro de 2013.

IEA, 2013. **TRENDS IN PHOTOVOLTAIC APPLICATIONS: Survey report of selected IEA countries between 1992 and 2012.** Disponível em: <www.iea-pvps.org>. Acesso em: 04 de agosto de 2013.

INEE, **Geração distribuída.** Disponível em: <http://www.inee.org.br/forum_ger_distrib.asp>. Acesso em: 10 de Março de 2013.

JUNIOR, J. C. A. **Bases para um Planejamento Energético Voltado ao Desenvolvimento Sustentável.** Disponível em: <<http://energiapga.blogspot.com.br/2010/04/bases-para-um-planejamento-energetico.html>>. Acesso em: 12/07/2013.

LAGO, A. A. C. **Estocolmo, Rio, Joanesburgo: o Brasil e a três conferências ambientais das Nações Unidas.** Brasil. Thesaurus Editora. 2007.

LIGHT, 2012. **Normas técnicas para geração de energia alternativa.** Disponível em: <http://www.light.com.br/Repositorio/Recon/energia_alternativa_12_12_12.pdf>. Acesso em: 22 de Agosto de 2013.

LORA, E.; HADDAD, J. **Geração distribuída: aspectos tecnológicos, ambientais e institucionais.** 1ª edição. Rio de Janeiro, Editora Interciência, 2006.

MATTOS-FONSECA, S. **Movimento Ambientalista e Desenvolvimento Sustentável, um breve histórico.** Disponível em <http://www.ecoeco.org.br/conteudo/publicacoes/encontros/iii_en/Mesa8/6.pdf>. Acesso em: 26/02/2013.

MENDES, J. M. G. **Dimensões da Sustentabilidade.** Disponível em: <<http://www.santacruz.br/v4/download/revista-academica/13/cap5.pdf>>. Acesso em: 22/07/2013.

MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA – MME, 2009. **Estudo e propostas de utilização da geração fotovoltaica conectada à rede, em particular em edificações urbanas.** Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/mmegtsf.pdf>>. Acesso em: 16 de março de 2014.

MOCELIN, A. R. **Implantação e gestão de sistemas fotovoltaicos domiciliares: resultados operacionais de um projeto piloto de aplicação da resolução ANEEL nº 83/2004.** 2007. 151p. Tese (Pós-Graduação em Energia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

MORAES, D. **A geração de energia elétrica de forma distribuída na concretização da sustentabilidade econômica e social.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUÍ). Graduação em Direito. Ijuí: UNIJUÍ, 2012.

NACIONAL, 2012. **Conexão de geração ao sistema de distribuição em baixa tensão.** Disponível em: <<http://www.cnee.com.br/files/2012/12/NTD-013-Micro-Gera%C3%A7%C3%A3o-Distribuida.pdf>>. Acesso em: 21 de Agosto de 2013.

NACIONAL, 2012. **Conexão de geração ao sistema de distribuição em média tensão.** Disponível em: <<http://www.cnee.com.br/files/2012/12/NTD-014-Mini-Gera%C3%A7%C3%A3o-Distribuida.pdf>>. Acesso em: 21 de Agosto de 2013.

OLIVEIRA, José Antônio Puppim de. **Empresas na Sociedade.** Rio de Janeiro, Elsevier, 2008.

ONU, 1987. **Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future.** Disponível em <<http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>>. Acesso em: 25/07/2013.

PARANAPANEMA, 2012. **Conexão de geração ao sistema de distribuição em baixa tensão.** Disponível em: <<http://www.valeparanapanema.com.br/files/2012/12/NTD-013-Micro-Gera%C3%A7%C3%A3o-Distribuida.pdf>>. Acesso em: 21 de Agosto de 2013.

PARANAPANEMA, 2012. **Conexão de geração ao sistema de distribuição em média tensão.** Disponível em: <<http://www.valeparanapanema.com.br/files/2012/12/NTD-014-Mini-Gera%C3%A7%C3%A3o-Distribuida.pdf>>. Acesso em: 19 de Agosto de 2013.

POMILIO, J. A. **Energia elétrica e fontes renováveis.** Disponível em: <<http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/pdf/it744/CAP1.pdf>>. Acesso em: 23 de fevereiro de 2013.

REIS, L.; SILVEIRA, S. **Energia Elétrica para o Desenvolvimento Sustentável.** 2ª edição. São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo, 2001.

REN21, 2013. **“Renewable 2012 – Global Status Report”.** Disponível em: <

3_LINS_GSR_2012_Lins_NREL_workshop_21%2012%2012.pdf>. Acesso em: 29 de junho de 2013.

RIBEIRO, W. C. **Geografia política e gestão internacional dos recursos naturais**. Estudos Avançados 24 (68), 2010.

RÜTHER, R. **Edifícios Solares Fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil**. 1. ed. Florianópolis: Editora UFSC - LABSOLAR, v. Único, 2004.

SALAMONI, I. T. **Um Programa Residencial de Telhados Solares para o Brasil: diretrizes de políticas públicas para a inserção da geração fotovoltaica conectada à rede elétrica**. Florianópolis: UFSC - BU, 2009.

SALATIEL, J. R. **Meio Ambiente: Enfraquecido, Protocolo de Kyoto é estendido até 2020**. Disponível em <<http://vestibular.uol.com.br/resumo-das-disciplinas/atualidades/meio-ambiente-enfraquecido-protocolo-de-kyoto-e-estendido-ate-2020.htm>>. Acesso em: 28 de julho de 2013.

SENAI – FIEP. **“Cenários Energéticos Globais 2020”**. Curitiba: SENAI – FIEP, 2007, 2ª Ed.

SANTA MARIA, 2012. **Procedimentos para conexão de micro e minigeração distribuída ao sistema elétrico da Santa Maria**. Disponível em: <http://www.elfsm.com.br/wp-content/uploads/2012/12/norma_mini_microgeracao_distribuida_ELFSM.pdf>. Acesso em: 17 de agosto de 2013.

SANTOS, K.; SOUZA, A.; GASTADELLO, D.; JUNIOR, P. **“Uma ferramenta computacional aplicada no estudo de curvas de carga em sistemas de energia”**. 10ª Conferência Brasileira de Dinâmica, Controle e Aplicações.

SMA SOLAR TECHNOLOGY AG. SUNNY FAMILY 2012/2013. **SMA Solar Technology**, 2012. Disponível em: < <http://files.sma.de/dl/17333/SOLARKAT-KUS131712W.pdf>>. Acesso em: 12 de fevereiro de 2014.

STECA. Steca Solar. **Steca**. 2011. Disponível em: <http://www.stecasolar.com/index.php?Voltage_converter>. Acesso em: 03 de agosto de 2011.

TIEPOLO, G.; CASTAGNA, A.; CANGIGLERI, O.; BETINI, R. **“Fontes Renováveis de Energia e a Influência no Planejamento Energético Emergente no Brasil”**. VIII Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, 2012.

TIEPOLO, G.; CANGIGLERI, O. **“Fontes Renováveis de Energia – Tendências e Perspectivas para o Planejamento Energético Emergente no Brasil”**. Revista SODEBRAS – Volume 7 – Nº77 – maio/2013.

TIEPOLO, G.; URBANETZ, J.; CANGIGLERI, O. **“Inserção da Energia Fotovoltaica na Matriz Elétrica do Estado do Paraná: Análise do Potencial Produtivo”**. Revista SODEBRAS – Volume 8 – Nº87 – março/2013.

União Nacional dos Estudiosos em Meteorologia - UNEMET Brasil, 2007. **“A evolução das fontes energéticas: das convencionais ao advento das energias renováveis”**. Revista Cirrus – Ano III – Nº11 – setembro-novembro/2007. Disponível em: <http://www.unemet.org.br/cirrus/edicoes/por/ed11/cirrus_11.pdf>. Acesso em: 23 de fevereiro de 2013.

URBANETZ, J. **Sistemas fotovoltaicos conectados a redes de energia elétrica e análise dos parâmetros que possam afetar a conectividade**. Tese de doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGE. Florianópolis: UFSC, 2010.

URBANETZ, J.; CASAGRANDE, E. **“Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica do Escritório Verde da UTFPR”**. VIII Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, 2012.

VEJA. Eike inaugura primeira usina solar comercial do país. **Veja**. 2011. Disponível em: <<http://veja.abril.com.br/noticia/economia/eike-inaugura-primeira-usina-solar-comercial-do-pais/imprimir>>. Acesso em: 04 de agosto de 2013.

VICENTINO, C. **História Geral**. São Paulo, Scipione, 2002, p. 288 - 292.

VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R. **Energia solar fotovoltaica – conceitos e aplicações – sistemas isolados e conectados à rede**. São Paulo: Ed. Érica, 2012

APÉNDICE A

Year	Driver	Team	Points	Wins	Podiums	Poles	Fast Laps	DNFs	Retirements	Accidents	Other
1950	Giuseppe Farina	Alfa Romeo	15	1	5	1	0	0	0	0	0
1951	Juan Manuel Fangio	Mercedes	30	5	11	6	0	0	0	0	0
1952	Alberto Ascari	Ferrari	24	6	10	6	0	0	0	0	0
1953	Alberto Ascari	Ferrari	31	7	13	7	0	0	0	0	0
1954	Juan Manuel Fangio	Mercedes	26	5	10	5	0	0	0	0	0
1955	Mike Hawthorn	Ferrari	10	1	4	0	0	0	0	0	0
1956	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
1957	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
1958	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
1959	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
1960	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
1961	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
1962	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
1963	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
1964	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
1965	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
1966	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
1967	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
1968	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
1969	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
1970	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
1971	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
1972	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
1973	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
1974	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
1975	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
1976	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
1977	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
1978	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
1979	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
1980	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
1981	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
1982	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
1983	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
1984	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
1985	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
1986	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
1987	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
1988	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
1989	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
1990	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
1991	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
1992	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
1993	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
1994	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
1995	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
1996	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
1997	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
1998	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
1999	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
2000	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
2001	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
2002	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
2003	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
2004	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
2005	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
2006	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
2007	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
2008	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
2009	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
2010	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
2011	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
2012	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
2013	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
2014	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
2015	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
2016	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
2017	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
2018	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
2019	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
2020	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
2021	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
2022	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
2023	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0
2024	Stirling Moss	Cooper	10	0	4	0	0	0	0	0	0

ANEXO A

Sunny Backup system: independence from the power distribution grid with solar power

Use solar power after sunset? Grid failure and still have a reliable electricity supply? It's no problem with a Sunny Backup system because it intelligently stores solar energy. PV plant operators can become even more independent from utility companies with this solution from SMA.

Increasing self-consumption

Acting as an interface between PV plant and power distribution grid, the Sunny Backup system optimizes the flow of energy in both directions: if the PV plant generates more electricity than the loads require, it is used to charge the battery and not fed into the power distribution grid. The solar current stored is tapped when the loads require it – even after sunset. The Sunny Backup system enables you to substantially increase your self-consumption.

Flexibility in the battery technology

In order to grant the plant operators the greatest freedom possible in the choice of battery, SMA works in close cooperation

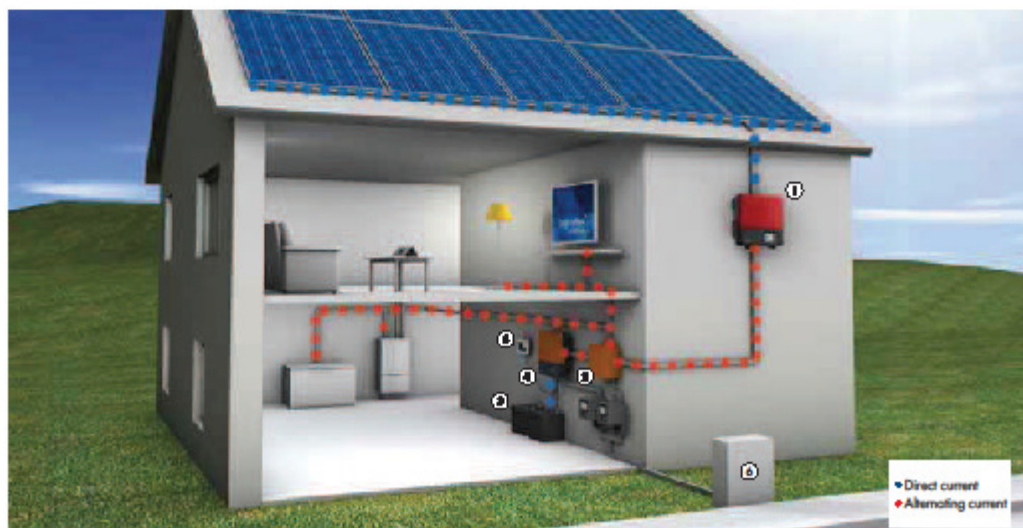
with leading battery manufacturers. The Sunny Backup systems are now even compatible with lithium-ion batteries. The charging cycle is particularly stable for this battery type and it features low storage loss, which is another positive effect in terms of self-consumption.

The optimum electricity insurance

Today, it is very difficult to do anything without electricity: no light, no heating, no computer, no phone, or cooling systems. And a power outage can have particularly grave economic consequences for businesses. For example, if the stall ventilation system or heat lamps lose power in a farming business. Or the cold chains stop working in hotels, supermarkets and restaurants. For safety reasons, PV plants need to be disconnected from the power distribution grid in the event of a power outage. The Sunny Backup system eliminates this supply gap. As an add-on to the PV plant, it automatically switches to off-grid power supply in the event of a power outage. Acting as an intelligent system manager, Sunny Backup then monitors the energy flow in the

stand-alone grid. The Sunny Backup ensures a reliable solar power supply and is environmentally-friendly.

The Sunny Backup System is the result of more than 30 years' experience in system technology – both for grid-connected PV plants and for stand-alone grids. As a synthesis between grid-connected operation and off-grid technology, the Sunny Backup system guarantees optimum user safety as well as an easy installation.



Components: 1. Sunny Boy PV inverter, 2. Sunny Backup automatic transfer switch, 3. Sunny Backup battery set, 4. Sunny Backup 2200, 5. Sunny Remote Control, 6. Grid connection



• System M / L for all grounding systems.
• System M with optional phase coupling

<p>Simple</p> <ul style="list-style-type: none"> • Can be integrated into existing and new PV plants • On-site configuration of grounding system 	<p>Flexible</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacities from 5 kW to 100 kW available 	<p>Efficient</p> <ul style="list-style-type: none"> • Small battery due to integration of the PV plant • Constantly high PV efficiency 	<p>Reliable</p> <ul style="list-style-type: none"> • Certified protection concept for TN and TT power distribution grids • Automatic switching to backup supply in approx. just 20 milliseconds
---	---	---	--



SUNNY BACKUP SYSTEM M / L / XL

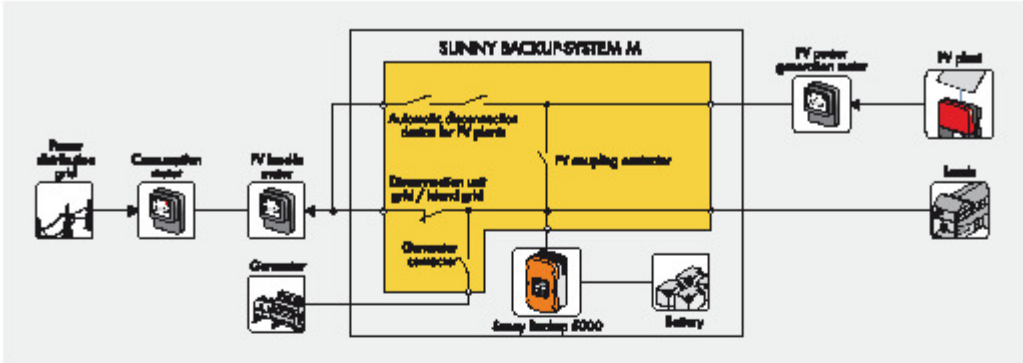
Solar power, even in the event of grid failure

Greatest performance and user benefits along with the lowest investment and operating costs: Compared to conventional emergency power systems, the Sunny Backup system scores well. As an add-on to the PV plant, the Sunny Backup automatically switches to off-grid power supply within approximately 20 milliseconds of a power outage. Both new and existing PV plants can be equipped with a Sunny Backup system – with no effect on PV efficiency. And the best part: due to the integration of the PV plant, a small and therefore low-cost battery can be implemented as it is usually only needed to bridge the night hours.

SUNNY BACKUP SYSTEM M / L / XL

Technical data	Sunny Backup system M	Sunny Backup system L
Output: loads		
Nominal power / electric current during grid operation	7.4 kW / 32 A at 35 °C	35 kW / 3 x 50 A at 35 °C
Max. power / electric current during grid operation for 30 min	8.9 kW / 38 A at 35 °C	41 kW / 3 x 60 A at 35 °C
Maximum fuse link	40 A	63 A
Backup power (duration / 30 min / 1 min)	5 kW / 6.5 kW / 8.4 kW	15 kW / 19.5 kW / 25.2 kW
Number of phases (grid operation / backup operation)	3/3 x 1 ~	3 / 3
Voltage (range)	230 V (187 V - 253 V)	230 V (187 V - 253 V)
Frequency (range)	50 Hz (45 Hz ... 55 Hz)	50 Hz (45 Hz ... 55 Hz)
Permitted grounding system	TN / TT	TN / TT
Typical interruption time during grid failure	20 ms	20 ms
Input PV plant		
Nominal AC PV power / current	5.7 kW / 25 A at 35 °C	28 kW / 3 x 40 A at 35 °C
Maximum fuse link	32 A	50 A
Compatible PV inverters	www.SMA-Solar.com	www.SMA-Solar.com
Input battery		
Nominal voltage	48 V	48 V
Battery type	Li-Ion / VRLA / FLA / NiCd	Li-Ion / VRLA / FLA / NiCd
Efficiency / self-consumption		
Max. efficiency in backup operation	95 %	95 %
Self-consumption consumption day / night (silent mode)	48 W / 32 W	103 W / 69 W
Protective devices		
DC reverse polarity protection / deep-discharge protection	● / ●	● / ●
AC short circuit / AC overload	● / ●	● / ●
Grid monitoring (SMA Grid Guard) / galvanic isolation	● / ●	● / ●
Protection class (according to IEC 62103)	I	I
Overvoltage category (according to IEC 60664)	III	III
General data		
SBU dimensions (W / H / D)	467 / 612 / 235 mm	467 / 612 / 235 mm
AS-Box dimensions (W / H / D)	550 / 950 / 225 mm	800 / 950 / 225 mm
SBU / AS-Box weight	63 kg / 50 kg	63 kg / 70 kg
Operating temperature range	-25 °C ... +50 °C	-25 °C ... +50 °C
Climatic class (according to IEC 60721-2-1)	4K4H	4K4H
SBU / AS-Box degree of protection (according to IEC 60529)	IP30 / IP54	IP30 / IP54
Features / function		
Integrated bypass in case of fault / test operation	● / ●	● / ●
State of charge calculation	●	●
Data cable	5 m	5 m
Array input (nominal power)	● (32 A at 35 °C)	● (40 A at 35 °C)
SBU / AS-Box warranty (5 / 10 / 15 / 20 / 25 years)	● / ○ / ○ / ○ / ○	● / ○ / ○ / ○ / ○
240 V voltage range (192.5 - 260.0 V)	○	○
Certificates and approvals (further approvals on request)	CE, VDE 0126-1-1	CE, VDE 0126-1-1
Accessories		
Battery cables	○	○
Battery fuse "BATFUSE"	○	○
Interfaces (RS485 PB) / Multicluster PB	○ / ○	○ / ○
<p>● Standard feature ○ Optional feature – Not available</p>		
Type designation	SBU5000 and AS-Box-M-20	3 x SBU5000 and AS-Box-L-20

Backup Systems



Technical data	Sunny Backup system XL (only for TN)	
Output: loads		
Nominal power / electric current during grid operation	110 kW / 3 x 160 A at 25 °C	
Max. power / electric current during grid operation for 30 min	- / -	
Maximum fuse link	160 A	
Backup power (duration / 30 min / 1 min)	60 kW / 78 kW / 100 kW	
Number of phases (grid operation / backup operation)	3 / 3	
Voltage (range)	230 V (187 V - 253 V)	
Frequency (range)	50 Hz (45 Hz ... 55 Hz)	
Permitted grounding system	TN	
Typical interruption time during grid failure	20 ms	
Input PV plant		
Nominal AC PV power / current	110 kW / 3 x 160 A at 25 °C	
Maximum fuse link	160 A	
Compatible PV inverters	www.SMA-Solar.com	
Input battery		
Nominal voltage	48 V	
Battery type	VRLA / FLA / NiCd	
Efficiency / self-consumption		
Max. efficiency in backup operation	95 %	
Self-consumption consumption day / night (silent mode)	360 W / 230 W	
Protective devices		
DC reverse polarity protection / deep-discharge protection	● / ●	
AC short circuit / AC overload	● / ●	
Grid monitoring (SMA Grid Guard) / galvanic isolation	● / ●	
Protection class (according to IEC 62103)	I	
Overvoltage category (according to IEC 60664)	III	
General data		
SBU dimensions (W / H / D)	467 / 612 / 235 mm	
AS-Box dimensions (W / H / D)	1000 / 1600 / 300 mm	
SBU / AS-Box weight	63 kg / 180 kg	
Operating temperature range	-25 °C ... +50 °C	
Climatic class (according to IEC 60721-2-1)	4K4H	
SBU / AS-Box degree of protection (according to IEC 60529)	IP30 / IP65	
Features / function		
Integrated bypass in case of fault / test operation	● / ●	
State of charge calculation	●	
Data cable	5 m	
Array input (nominal power)	● (160 A at 25 °C)	
SBU / AS-Box warranty (5 / 10 / 15 / 20 / 25 years)	● / ○ / ○ / ○ / ○	
240 V voltage range (192.5 - 260.0 V)	○	
Certificates and approvals (further approvals on request)	CE, VDE 0126-1-1	
Accessories		
Battery cables	○	
Battery fuse "BATFUSE"	○	
Interfaces (RS485 PB) / Multicluster PB	● / ○	
● Standard feature ○ Optional feature - Not available		
Type designation	12 x SBU 5000 and AS-Box-XL	



Simple

- Can be integrated into existing and new PV plants
- Pre-configured set

Efficient

- Energy supply and battery charging over the power distribution grid
- Unchanged high PV efficiency
- Compact and affordable automatic transfer switch
- Smaller battery size due to integration of the PV plant

Reliable

- Automatic switching to backup supply in only approx. 50 milliseconds



SUNNY BACKUP SET S

Reliable emergency power supply, even for single-family homes

Innovative electricity insurance for private homes: as an add-on to the PV plant, the Sunny Backup set S switches automatically to off-grid mode within 50 milliseconds in the event of grid failure. Whether in summer or winter, if the power goes out, owners of small to medium-sized PV plants and inverters from SMA can supply their most important consumer loads themselves. Our affordable complete solution is suitable for both new PV plants as well as existing PV plants, which can be easily retrofitted with our certified Sunny Backup set S.



Increase in self-consumption
Sunny Backup systems S / M / L

<p>High yields</p> <ul style="list-style-type: none"> • Increase in self-consumption rate with Sunny Backup 	<p>Precise</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fast data recording thanks to DO interface on electronic meters • Precise and fast control by means of the Sunny Backup 	<p>Simple</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cabling via plug connectors • Fast top-hat rail mounting 	
---	--	--	--



METER BOX FOR SUNNY BACKUP

Higher self-consumption through buffering of solar power

The Meter Box for Sunny Backup enables current flows to be captured fast and with great precision, thus guaranteeing an optimum increase in self-consumption. After all, the efficient buffering of solar power for night use is the crucial factor for increasing the self-consumption rate. The result: greater independence from the grid operator and a reduction of the volume of electricity purchased from the public electricity grid. To enable Sunny Backup to operate with greatest efficiency, the electricity meters are read out by the Meter Box for Sunny Backup. This precise capture of the current flows enables the battery to be charged and discharged economically, and this in turn maximizes electrical endurance and optimizes self-consumption.

