

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**Curso de Pós-Graduação em Energia Renováveis, Geração
Distribuída e Eficiência Energética**



Monografia de Especialização

Marcelo Farid Mansour

**Uma visão crítica do prodist no cenário da geração distribuída no
Brasil**

São Paulo - SP 2015

MARCELO FARID MANSOUR

Uma visão crítica do prodist no cenário da geração distribuída no Brasil

Monografia submetida ao Programa de Pós-Graduação em Energia Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Especialista.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Castro

São Paulo – SP
Dezembro

2015

Programa de Pós-Graduação PECE-USP

ATA DE DEFESA DE MONOGRAFIA

São Paulo, 04 de Dezembro de 2015.

Ilustríssima Comissão de Pós-Graduação da USP-Pece

Relatamos, que em 04 de Dezembro de 2015, realizou-se a Defesa da Monografia, da Sr. Marcelo Farid Mansour, aluno da pós-graduação de Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética da USP, nível especialização, com o título do trabalho: "Urna Visão Crítica do Prodist no Cenário da Geração Distribuída no Brasil" Abaixo o resultado de cada participante da Banca de Exame:

Nome dos participantes	Sigla da Uni-	Resultado
Marcos de Mattos Pimenta	Turma 7 PECE	
José Roberto Simões Moreira	Turma 7 PECE	
Orientador		
Roberto Castro		

Banca Examinadora

Assinaturas:

Prof. Dr. Marcos de Mattos Pimenta_____

Prof. Dr. José Roberto Simões Moreira_____

Prof. Dr. Roberto Castro_____

Dedico este trabalho à minha família que me apoiou principalmente minha esposa e filhos que sempre carinhosos me forneceram energias positivas para cada vez mais atingir meus objetivos e o legado que meus pais me deixaram de sempre procurar o caminho da honestidade e do bem comum e estudar sempre, pois, este é o melhor caminho para uma vida completa de realizações.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Roberto Castro pelas críticas construtivas no meu trabalho e ao PECE-USP pelos excelentes Professores que ampliarão nossos conhecimentos técnicos e sua infraestrutura neste curso ministrado. E finalmente agradeço aos meus colegas pelas ajuda e compreensão nas diversas discussões que tivemos ao longo deste curso.

RESUMO

MANSOUR, MARCELO FARID. Uma visão crítica do Prodist no Cenário da Geração Distribuída no Brasil. Monografia de especialista em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética. Universidade São Paulo-USP. São Paulo, 2015.

No presente momento nossos recursos energéticos distribuídos são escassos e precisam ser melhorados na sua totalidade principalmente no emprego de novas tecnologias de geração e armazenamento de energia que fornecem capacidade elétrica ao sistema que hoje se torna inevitável seu uso. Normalmente produzindo menos de 10 megawatts (MW) de potência, sistemas GD geralmente podem ser dimensionados para atender às necessidades específicas e instalado em um local que permita controle e acesso ao sistema elétrico Brasileiro. Sistemas de GD podem ser ligados ao local da rede de energia elétrica ou isolados da rede em aplicações stand-alone. As tecnologias em GD são turbinas eólicas, painéis fotovoltaicos (PV), células de combustível, microturbinas, motores alternativos, turbinas a gás, cogeração, e sistemas de armazenamento de energia.

Sistemas de GD devem ser usados em várias maneiras, e podem ajudar a gerenciar a distriuição de energia e garantir confiabilidade ao sistema e aumentando a sua eficiência nos serviços de energia atualmente tão necessitada. Sistemas de GD também permitem uma facilidade na operação de forma independente da rede de energia elétrica, seja por escolha ou pela necessidade. Certos sistemas de GD podem até mesmo diminuir as emissões e melhorar a utilização de combustível reduzindo o impacto ambiental com uso desta tecnologia.

Concessionárias podem usar tecnologias de GD para adiar, reduzir, ou mesmo eliminar a necessidade de obter um custo adicional na geração de energia, transmissão e distribuição no tocante aos equipamentos e sua infraestrutura. Ao mesmo tempo, sistemas de GD podem fornecer suporte de tensão e aumentar a confiabilidade local. Hoje, devido aos fatores econômicos e ambientais fazem valer a pena a GD. Estes fatores incluem os preços elevados associados com a energia elétrica e o uso de combustíveis nos últimos anos. Fornecimento de combustível com possibilidade de escassez e o aumento dos problemas dos não transtórios em

CA (qualidade de energia) no serviço de energia elétrica estão levando ao Operador Nacional do Sistema - ONS a procurar alternativas à energia hidrogeradora com intuito de prestar um melhor serviço e aumentar a confiabilidade do sistema com novas formas de GD para complementar o suprimento atual de energia elétrica.

Necessariamente, hoje a implementação de uma legislação efetiva de monitoração de eventos de qualidade de energia(PRODIST) que possam diminuir ou até mesmo eliminar as situações de baixa confiabilidade do sistema elétrica e propiciar ganhos na infraestrutura do nosso país.

Palavras-chave: Geração Distribuída. Energia. Tecnologias. Conexão à Rede Elétrica. Meio Ambiente.

ABSTRACT

MANSOUR, MARCELO FARID. **A critical prodist view of the scenery of distributed generation in Brazil.** Monografia de especialista em Energias Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética. Universidade São Paulo-USP. São Paulo, 2015.

At present our distributed energy resources are scarce and need to be improved in its entirety mainly in the use of new technologies for energy generation and storage to provide electrical power to the system that now adorns September inevitable use.

Typically producing less than 10 megawatts (MW) of power, DG systems can usually be sized to meet the specific needs and installed in a location that allows control and access to the Brazilian electrical system. DG systems can be connected to the local electrical power source or isolated network in stand-alone applications. The technologies in DG are wind turbines, photovoltaic panels (PV), fuel cells, micro turbines, reciprocating engines, gas turbines, cogeneration, and energy storage systems.

DG systems can be used in many ways as they can help manage the distribution energy and ensure reliability of the system and increasing its efficiency in energy services currently so poor. GD systems also allow a facility in the form of operation independent of the power grid, either by choice or by necessity. GD certain systems can even reduce emissions and improve fuel usage by reducing the environmental impact with use of this technology.

Dealers can use DG technologies to delay, reduce, or even eliminate the need for an additional cost in power generation, transmission and distribution in respect of the equipment and its infrastructure. At the same time, DG systems can provide voltage support and increase local reliability. Today, due to economic and environmental factors make it worth the DG. These factors include the high prices associated with electricity and fuel use in recent years. Fuel supply with the possibility of shortages and rising problems of no transients AC (power quality) in the electricity service are leading to the National Electric System Operator - ONS to seek alternatives to hydro generation energy aiming to provide better service and increase system reliability with new forms of DG to complement the current supply of electricity.

Necessarily today necessitation the implementation of effective legislation monitoring power quality events(PRODIST) that could reduce or even eliminate the situations of

low reliability of the electric system and provide gains in the infrastructure of our country.

Keywords: Distributed Generation. Energy. Technologies. Electrical Network Connection. Environment.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 – EXEMPLOS DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA CONECTADA AO SISTEMA.....	34
FIGURA 4.1 – MAPA DA REDE DE TRANSMISSÃO DO SISTEMA INTERLIGADO BRASILEIRO.....	57
FIGURA 4.2 – SISTEMA DE TRANSMISSÃO BRASILEIRO PROJETADO SOBRE O TERRITÓRIO EUROPEU.	58
FIGURA 5.1 – DIAGRAMA DE EVOLUÇÃO DA LEGISLAÇÃO.....	118

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 – FAIXAS DE POTÊNCIA INDICADAS PARA OS NÍVEIS DE TENSÃO DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO.....	36
TABELA 3.1 – CUSTOS DE INSTALAÇÃO DAS TECNOLOGIAS.....	52
TABELA 3.2 – CUSTOS DE PRODUÇÃO DE ENERGIA PELO TIPO DE GERAÇÃO.....	53
TABELA 3.3 – EMISSÕES DE POLUENTES DAS TECNOLOGIAS DURANTE A GERAÇÃO DE ELETRICIDADE	54
TABELA 4.1 – TENSÕES NOMINAIS PADRONIZADAS PARA BAIXA, MÉDIA E ALTA TENSÃO.....	64
TABELA 4.2 – PROTEÇÕES MÍNIMAS EM FUNÇÃO DA POTÊNCIA INSTALADA.....	69

LISTA DE ABREVIASÔES

ACR	Ambiente de Contratação Regulada
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AT	Alta Tensão
BEN	Balanço Energético Nacional
BIG	Banco de Informações de Geração
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BT	Baixa Tensão
CCC	Conta de Consumo de Combustíveis Fósseis
CCC-ISOL	Conta de Consumo de Combustíveis Fósseis dos Sistemas Isolados
CCD	Contrato de Conexão às Instalações de Distribuição
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CDE	Conta de Desenvolvimento Energético
CELESC	Centrais Elétricas de Santa Catarina
CERJ	Companhia de Eletricidade do Rio de Janeiro
CGE	Central Geradora Eólica
CGH	Central Geradora Hidroelétrica
CIGRÉ	<i>International Council on Large Electric Systems</i>
CIRED	<i>International Conference & Exhibition on Electricity Distribution</i>
CO	Centro de Operação
COT	Centro de Operação de Agente de Transmissão

COPEL	Companhia Paranaense de Energia
COPPE	Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia
CPFL	Companhia Paulista de Força e Luz
CUSD	Contrato de Uso do Sistema de Distribuição
DIT	Demais Instalações de Transmissão
EIA	<i>Energy Information Administration</i>
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
GD	Geração Distribuída
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GT-GDSF	Grupo de Trabalho de Geração Distribuída Fotovoltaicos em Sistemas Fotovoltaicos
IAP	Instituto Ambiental do Paraná
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>

INEE	Instituto Nacional de Eficiência Energética
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados
MCFC	<i>Molten Carbonate Fuel Cell</i>
MCH	Micro Central Hidroelétrica
MME	Ministério de Minas e Energia
MT	Média Tensão
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PAFC	<i>Phosphoric Acid Fuel Cell</i>
PCH	Pequena Central Hidroelétrica
PDD	Plano de Desenvolvimento da Distribuição
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PEFC	<i>Polymer Electrolyte Fuel Cell</i>
PEMFC	<i>Proton Exchange Membrane Fuell Cells</i>
PGD	Programa de Incentivo à Geração Distribuída

PL	Projeto de Lei
PNPB	Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
CEE	Qualidade da Energia Elétrica
RN	Resolução Normativa
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
SIN	Sistema Interligado Nacional
SOFC	<i>Solid Oxide Fuel Cell</i>
TUST	Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão
TUSDg	Tarifa de Uso dos Sistemas de Distribuição Aplicável às Centrais Geradoras

LISTA DE SÍMBOLOS

E_f	Energia da fonte
E_t	Energia da utilidade eletromecânica
E_e	Energia da utilidade calor
W	Watt - Unidade de Potência
kW	Quilowatt - Unidade de Potência
MW	Megawatt - Unidade de Potência
V	Volt - Unidade de tensão elétrica
kV	Quilovolt - Unidade de tensão elétrica
Hz	Hertz - Unidade de frequência

kVA	Quilovolt-ampère - Unidade de Potência Elétrica
\$/kW	Dólar por quilowatt
R\$/kWh	Real por quilowatt-hora
g/kWh	Grama por quilowatt-hora
ppm	Parte por milhão - Medida de concentração
CO	Monóxido de Carbono
CO2	Dióxido de Carbono ou Gás Carbônico
NOX	Óxidos de Nitrogênio

SUMÁRIO

Curso de Pós-Graduação em Energia Renováveis, Geração Distribuída e Eficiência Energética	1
AGRADECIMENTOS	4
RESUMO.....	5
ABSTRACT.....	7
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABELAS	10
LISTA DE ABREVIACÕES.....	11
LISTA DE SÍMBOLOS.....	15
SUMÁRIO.....	17
1. INTRODUÇÃO.....	22
1.1. MOTIVAÇÃO DO TRABALHO	22
1.2. OBJETIVOS	25
1.3. METODOLOGIA	26
1.4. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	27
2. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA.....	29
2.1. CONCEITO de GD	30
2.1.1. Definições	31
2.1.2. Como ocorre no mercado da energia produzida pela GD.....	33

2.1.3.	Quanto à forma e localização da GD	33
2.1.4.	Quanto às tecnologias e recursos naturais que podem ser utilizados como GD	34
2.1.5.	Quanto à potência útil dos geradores distribuídos	35
2.2.	VANTAGENS DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	37
2.2.1.	Na Sociedade e ao Planeta - Meio Ambiente.....	37
2.2.2.	No Setor de Energia Elétrica.....	38
2.2.3.	Na visão do Investidor e do Consumidor	40
2.2.4.	Quais as possíveis reduções de Custos com a GD	40
3.	NOVAS TECNOLOGIAS PARA USO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	42
3.1.	EXEMPLOS DE TECNOLOGIAS	43
3.1.1.	MOTORES ALTERNATIVOS DE COMBUSTÃO INTERNA.....	44
3.1.2.	MICROTURBINAS A GÁS.....	45
3.1.3.	CÉLULAS A COMBUSTÍVEL.....	45
3.1.4.	AEROGERADORES	47
3.1.5.	PAÍNEIS FOTOVOLTAÍCOS.....	48
3.1.6.	PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS - PCH.....	50
3.2.	O CUSTO DAS TECNOLOGIAS	51
4.	PONTO DE CONEXÃO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA À REDE ELÉTRICA ..	55
4.1.	TIPOS DE CONEXÃO.....	59
4.1.1.	Paralelismo momentâneo	59

4.1.2.	Paralelismo Permanente.....	60
4.1.3.	Transferência Automática Rede/Gerador.....	60
4.2.	CONDIÇÕES DE CONEXÃO.....	62
4.3.	CURTO-CIRCUITO NA REDE de GERAÇÃO	65
4.4.	ESTUDO PARA PROTEÇÃO DO SISTEMA	67
4.5.	ESTUDO DO FLUXO DE POTÊNCIA.....	76
4.5.1.	Reconfiguração	78
4.5.2.	Dimensionamento e alocação da GD	78
4.5.3.	Alocação de perdas.....	79
4.6.	IMPACTOS NA QUALIDADE DA ENERGIA	85
4.6.1.	Variação de tensão em regime permanente	86
4.6.2.	Variação de tensão de curta duração-VTCD.....	87
4.6.3.	Distorções da forma de onda.....	88
4.6.4.	Variação de frequência.....	89
4.6.5.	Flutuação de tensão-Flicker	89
4.6.6.	Desequilíbrio de tensão	90
4.6.7	Impactos na Estabilidade	91
4.7.	EFEITOS SOBRE O SISTEMA DE TRANSMISSÃO E A GERAÇÃO CENTRALIZADA	94
5.	REGULAMENTAÇÃO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	94
5.1.	RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 687, DE 24 DE NOVEMBRO DE 2015 ...	95

5.1.1.	Decreto nº 2.003, de 10 de setembro de 1996	95
5.1.2.	Resolução Normativa nº 21, de 21 de janeiro de 2000	96
	Resolução Normativa nº 235, de 14 de novembro de 2006	96
5.1.3.	Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002	97
5.1.4.	Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004	97
5.1.5.	Resolução Normativa nº 77, de 18 de agosto de 2004	98
5.1.6.	Resolução Normativa nº 167, de 10 de outubro de 2005.	98
5.1.7.	Resolução Normativa nº 228, de 25 de julho de 2006	98
5.1.8.	Resolução Normativa nº 247, de 21 de dezembro de 2006	99
5.1.9.	Resolução Autorizativa nº 1.482, de 29 de julho de 2008	99
5.1.10.	Portaria nº 36, de 26 de novembro de 2008	100
5.1.11.	Resolução Normativa nº 345, de 16 de dezembro de 2008	100
5.1.12.	Resolução Normativa nº 349, de 13 de janeiro de 2009.	101
5.2.	PROCEDIMENTOS DE DISTRIBUIÇÃO	101
	Módulo 1 – Introdução	102
	Módulo 2 – Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição	102
	Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição	103
	Módulo 4 – Procedimentos Operativos do Sistema de Distribuição..	105
	Módulo 5 – Sistemas de Medição	107
	Módulo 6 – Informações Requeridas e Obrigações.....	108

Módulo 7 – Cálculo de Perdas na Distribuição	109
Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica	109
5.3. MECANISMOS DE INCENTIVO	110
5.3.1. Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica...	110
5.3.2. Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel	112
5.3.3. Programa de Geração Distribuída com Saneamento Ambiental.....	113
5.3.4. Conta de Desenvolvimento Energético.....	114
5.3.5. Conta de Consumo de Combustíveis.....	115
5.4. ANÁLISE DA LEGISLAÇÃO	116
Questões a Serem Definidas com a Legislação do Tipo Seminais ...	119
Questões a Serem Definidas com a Legislação dos Tipos Regulamentadora e Normativa.....	119
Questões a Serem Definidas com a Legislação Indutora	120
6. MUDANÇA DE PARADIGMA PARA O ESTABELECIMENTO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	121
7. DISCUSSÃO QUANTO AO CENÁRIO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO BRASIL	127
Usinas São João Biogás e Bandeirante	131
Usinas do Programa de Geração Distribuída com Saneamento Ambiental	133
8. CONCLUSÕES	137
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	141

1. INTRODUÇÃO

Neste cenário atual com escassez de energia elétrica hidrogeradora e com o uso de energia termelétrica nosso país passa por uma crise socioeconômica muito severa e com o aumento do consumo de energia elétrica evidencia-se uma probabilidade de desabastecimento caso haja crescimento econômico do Brasil e apesar disto, no qual, percebe-se que não haverá energia disponível para este aumento de demanda caso isto ocorra e umas das alternativas de geração de energia elétrica, motiva o desenvolvimento de incentivos ao uso de fontes de Geração Distribuída (GD) e uma metodologia para suas medições dos transitórios e não transitórios em CA.

Em uma visão genérica, a GD identifica as PCH pequenas centrais geradoras, comparadas ao modelo de geração centralizada atual, pois estão localizadas muito próximas às regiões de consumo e de conexão ao sistema de distribuição da ONS. Este sistema elétrico interligado é constituído pelas grandes concessionárias de geração e transmissão, este tipo de geração seria uma forma alternativa e de complementação a fim de assegurar o atendimento gradativo do aumento da demanda de energia elétrica, principalmente nos dias de hoje, na qual os grandes projetos do setor elétrico estão passando por enormes entraves principalmente pelas questões ambientais e sem qualquer tipo de medição pelo modelo atual do Prodist.

1.1. MOTIVAÇÃO DO TRABALHO

As atividades de qualquer país hoje estão baseadas na questão de seu potencial energético ou a disponibilidade de energia elétrica. Um insumo primordial

para o crescimento econômico de qualquer país e indispensável ao seu bem-estar social. Assim sendo, e identificando o atual padrão econômico-social, o desenvolvimento econômico e o nível de qualidade de vida da sociedade de uma determinada região estão intimamente ligados ao seu consumo de energia elétrica (CAMARGO, 1996; ANEEL, 2005a).

A expansão econômica de alguns países, e seu crescimento populacional e à modificação de seus hábitos da sociedade numa determinada direção têm privilegiado o uso de sistemas consumidores de energia, e com isso aumentando a demanda por energia elétrica em boa parte do mundo nos últimos anos (ANEEL, 2005a; 2008a; EIA, 2008; EPE, 2008a). Numa proporção relativa, cresce também a dependência e o uso, muitas vezes sem planejamento, de recursos naturais e a degradação do meio ambiente.

A energia elétrica mundial produzida cerca de 83% está baseada em fontes não-renováveis (MME, 2012), e a maior porção em queima de combustíveis fósseis, emitindo

Diariamente grande quantidade de poluentes à atmosfera, além de outros danos à natureza. No Brasil, a matriz de energia elétrica se apresenta de forma diferenciada. De acordo com os Resultados Preliminares do Balanço Energético Nacional (BEN) de 2009, a oferta interna de energia elétrica é de 85,4% proveniente de recursos renováveis (EPE, 2009), que causam danos em menor escala, mas ainda assim afetam o ambiente e a sociedade, principalmente na construção de novas unidades de geração de grande porte, distantes dos centros de consumo, que implicam na necessidade de extensas linhas de transmissão.

Uma característica peculiar do setor elétrico brasileiro é a predominância hídrica. Cerca de 73,1% da matriz elétrica brasileira é composta por hidroeletricidade (EPE, 2009), sendo que 70% do potencial hidráulico do país ainda não foram aproveitados (ANEEL, 2008a; EPE, 2008b; MME, 2008). Porém, este potencial disponível está localizado em sua maioria na região norte, que é uma região plana, sujeita a inundações mais extensas, coberta por floresta tropical, apresentando grande biodiversidade de fauna e flora, e por áreas indígenas. Assim, o desenvolvimento deste potencial remanescente está condicionado a possíveis e

profundos impactos socioambientais, gerando incertezas ao seu aproveitamento numa perspectiva de longo prazo (EPE, 2008b).

Neste contexto, são crescentes os movimentos sociais e ambientalistas que lutam contra a construção de grandes obras de geração e transmissão, o que consequentemente dificulta a expansão do abastecimento de energia elétrica e gera outros problemas para o setor (CAMARGO, 1996). Um exemplo é a vagarosa criação de novas unidades hidrelétricas à espera de licenciamento ambiental, o que tem acarretado o uso mais intenso de termelétricas, cujas fontes energéticas são mais caras e mais poluentes (LUCON; GOLDEMBERG, 2009).

Deste modo, observa-se que novos caminhos precisam ser trilhados quanto à questão energética, visando atender a crescente demanda elétrica sem limitar o desenvolvimento econômico do país e ao mesmo tempo promover a proteção do meio ambiente e o desenvolvimento social. Neste aspecto, o aproveitamento de forma mais eficiente de recursos naturais durante a geração, a maior eficiência de equipamentos de consumo e de transporte da energia, acompanhado do seu uso consciente são medidas de suma importância para se atingir tais resultados.

Em paralelo a esta nova visão, está a Geração Distribuída, que devido à proximidade das regiões de consumo, pode permitir um melhor aproveitamento de recursos energéticos locais, na medida em que reduz perdas no transporte de matéria-prima e promove o desenvolvimento regional. Além disso, evita perdas elétricas nas linhas de transmissão, por ser conectada à distribuição. E também pode amenizar a necessidade de construção de novas unidades de geração de grande porte, implicando em menores impactos ao meio ambiente e à sociedade.

A geração de energia elétrica em pequena escala pode ser suficiente para atender ao consumo local, aliviando as redes de distribuição, e favorecendo o uso de tecnologias que utilizam recursos renováveis de energia, como exemplo, a geração de eletricidade através do vento, do sol, do biogás formado em aterros sanitários, entre outros, contribuindo para uma matriz elétrica limpa e diversificada. Além de favorecer o uso de cogeração, que implica no aproveitamento dos energéticos primários com maior eficiência.

Estas contribuições ambientais e sociais deste tipo de geração, aliadas ao possível esgotamento das fontes convencionais fósseis de energia, à evolução de novas tecnologias de geração, e à reestruturação mundial da indústria de energia elétrica, abriram espaço para o surgimento da GD (SILVA, 2002), trazendo incentivos às pesquisas e investimentos na área, tornando-a presente no cenário elétrico de alguns países. No Brasil, a GD vem sendo discutida no setor elétrico por pesquisadores envolvidos com o tema como alternativa ao suprimento da crescente demanda energética (LORA; HADDAD, 2006; ROMAGNOLI, 2005; SILVA, 2002). No entanto, este tipo de geração de energia elétrica é pouco disseminado no país.

A percepção deste fato motivou o desenvolvimento deste trabalho de pesquisa que visa compreender o cenário de implantação da GD no Brasil, bem como, apresentar uma visão crítica do atual envolvimento e conhecimento do setor elétrico, centro de pesquisa e do governo brasileiro com o problema apontado.

Neste caso destacam-se algumas dificuldades apontadas na literatura sobre desenvolvimento da GD no país. Entre elas estão às questões técnicas relativas à conexão de geradores à rede de distribuição (GOMES; et al., 1999; GONÇALVES, 2004; RIBEIRO; FERREIRA; MEDEIROS, 2005); as questões regulatórias inconsistentes quanto a padrões de conexão e atendimento a carga, na legislação brasileira (ROMAGNOLI, 2005); as questões relacionadas ao custo das tecnologias de uso da GD (SHAYANI, OLIVEIRA, CAMARGO, 2006); e, finalizando, as questões que envolvem hábitos e padrões da sociedade, da política e da economia (ANDRADE, 2004; SHAYANI, OLIVEIRA, CAMARGO, 2006).

1.2. OBJETIVOS

No contexto apresentado acima, este trabalho tem o objetivo de fazer um levantamento dos parâmetros que indiquem por que a participação da Geração Distribuída se apresenta de forma limitada no cenário brasileiro de energia elétrica,

visto que se trata de uma alternativa que pode contribuir para o desenvolvimento de uma política sustentável no país.

De forma mais específica, busca-se:

- Identificar as principais tecnologias que podem ser empregadas como GD, abordando questões comerciais referentes a elas;
- Identificar o nível de pesquisa e inovação envolvendo as variáveis técnicas de conexão de uma unidade de GD à rede de distribuição;
- Realizar um levantamento sobre as regras e normatização da GD na legislação brasileira, e se este tipo de geração é incentivado pelas instituições vinculadas ao setor elétrico;
- E buscar demais fatores que podem explicar porque este tipo de geração ainda é pouco difundido.

Um aspecto interessante de se ressaltar é que esta proposta de pesquisa faz parte de um programa de pós-graduação interdisciplinar em Energia. Em função disso, percebeu-se a necessidade de se desenvolver um documento que pudesse integrar as discussões de grupos de pesquisa com formações diferentes, mas disciplinares nas suas áreas, que estão envolvidos na aplicação e resolução de diversos problemas, como por exemplo, a questões referentes à instalação de GD na rede elétrica. Pretende-se, assim, gerar um conjunto de informações que dão a dimensão do atual cenário da GD no país e que possa nortear os caminhos de futuras pesquisas, bem como, para delinear políticas para incentivar o uso da GD.

1.3. METODOLOGIA

Para alcançar os objetivos do trabalho, na primeira etapa do desenvolvimento da pesquisa realizou-se um levantamento bibliográfico do estado da arte no que diz respeito à Geração Distribuída e às normas de conexão desta fonte

vigentes no Setor Elétrico Brasileiro, bem como a identificação de restrições e parâmetros que dificultam a sua difusão no sistema elétrico brasileiro.

A fim de caracterizar a abrangência e a necessidade do trabalho desenvolvido foi elaborado um roteiro de perguntas, e em seguida direcionado a três empresas de energia do setor envolvidas com a instalação de unidades de Geração Distribuída. E finalizou-se com uma discussão sobre as informações adquiridas por meio do levantamento bibliografia e do questionário.

1.4. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O texto presente está estruturado da seguinte forma:

Capítulo 1 – contextualização do projeto de pesquisa, em que são apresentados à problemática, a justificativa, os objetivos e métodos do trabalho.

Capítulo 2 – aprofundamento no tema sobre a Geração Distribuída, apresentando sua conceituação e suas vantagens.

Capítulo 3 – estudo sobre as tecnologias de uso da GD, buscando identificar as barreiras tecnológicas vinculadas a seu estágio comercial.

Capítulo 4 – levantamento das questões técnicas relacionadas à conexão da GD ao sistema de distribuição, e das barreiras encontradas.

Capítulo 5 – apresentação e avaliação da legislação vigente e de mecanismos de incentivo que se referem, de forma direta ou indireta, à GD no Brasil.

Capítulo 6 – explanação sobre o cenário da economia atual e como ela interfere no desenvolvimento da GD.

Capítulo 7 – discussão dos resultados encontrados

Capítulo 8 – conclusões.

2. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

No início da década de 1990, o setor elétrico brasileiro começa a passar por um processo de reestruturação, em que o modelo de monopólio estatal, em crise principalmente pelo fato de suas empresas se utilizarem para atingir metas econômicas do governo federal e por estagnação da demanda, vai se deteriorando dando lugar a um novo modelo de expansão e concorrência (ABREU, 1999).

O início da reestruturação foi marcado pela privatização de empresas do setor e seguido de diversas mudanças legais e institucionais. Neste processo, ocorreu a desverticalização das atividades do setor em geração, transmissão, distribuição e comercialização, e a criação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), sendo esta responsável por implantar e desenvolver um mercado de concorrência para as atividades de geração e comercialização.

A concorrência é estimulada com a criação do produtor independente e do autoprodutor cuja definição é apresentada na seção 5.1.1, e com a permissão de livre acesso às linhas de transmissão e distribuição por geradores, além da criação de um mercado de energia elétrica, através dos comercializadores e consumidores livres, os quais têm a liberdade de escolher a empresa fornecedora de energia. (ABREU, 1999; CORRÊA NETO, 2001; VS5, 2009).

Também ficaram a cargo da ANEEL regulamentar as atividades de transmissão e distribuição, agregando valor aos serviços de transporte da energia elétrica, que permanecem em monopólio por serem fundamentais na manutenção da confiabilidade e eficiência na qualidade e coordenação do sistema elétrico (ABREU, 1999; CORRÊA NETO, 2001; VS5, 2009).

Observa-se que tais reformas apresentam caráter descentralizador e abrem espaço para a produção de energia elétrica em pequena escala. No modelo conservador, as concessionárias de eletricidade se caracterizam por atender à demanda com energia gerada por grandes usinas distantes dos grandes centros consumidores.

res, posteriormente transportada através de longas linhas de transmissão e em seguida por sistemas de distribuição. Esta estrutura é conhecida como Geração Centralizada, onde o planejamento e o despacho são controlados de forma centralizada (GONÇALVES, 2004).

As características desse modelo ainda se apresentam de forma intensa, porém, a nova estrutura da indústria de energia elétrica trouxe, através da produção independente e da autoprodução, a discussão da utilização de Geração Distribuída como opção de geração de eletricidade, de forma complementar a geração centralizada. Assim, para melhor conhecer o termo Geração Distribuída, este capítulo apresenta uma abordagem quanto ao seu conceito e às possíveis vantagens de sua aplicação ao sistema elétrico.

2.1. CONCEITO de GD

O conceito de Geração Distribuída se apresenta de diversas formas na literatura, causando muitas vezes confusão quanto a sua forma de conexão à rede, sua capacidade instalada, sua localização e as tecnologias e recursos naturais utilizados. Os principais pontos de vista acerca destas características são abordados nesta seção, iniciando-se com a definição de GD apresentada por algumas instituições.

2.1.1. Definições

Para o *International Council on Large Electric Systems* (CIGRÉ), GD é a geração que não é planejada e nem despachada de forma centralizada, sem haver deste modo um órgão que comande suas ações; é usualmente conectada à rede de distribuição; e sua potência instalada é menor que 50 MW (CIRED, 1999; FORTES, 2007; LORA; HADDAD, 2006;).

O *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) define a GD como uma unidade de geração pequena o suficiente para ser conectada ao sistema de distribuição e estar próxima ao consumidor (FORTES 2007; LORA; HADDAD, 2006).

De acordo com o Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE), Geração Distribuída vem designar a geração elétrica realizada próxima de consumidores, independentemente de sua potência, tecnologia ou fonte de energia (INEE, 2009).

Pela Legislação Brasileira, a GD é definida pelo artigo 14 do Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004. Este considera que Geração Distribuída é a produção de energia elétrica proveniente de empreendimentos de agentes concessionários, permissionários ou autorizados, conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador, com exceção os empreendimentos hidrelétricos com capacidade instalada superior a 30 MW; empreendimentos termelétricos, inclusive de cogeração, com eficiência energética inferior a 75% (setenta e cinco por cento). Porém, termelétricas que utilizem biomassa ou resíduos de processo como combustível não são limitados por esse percentual (BRASIL, 2004a).

A exceção das usinas hidrelétricas com potência instalada maior que 30 MW se dão possivelmente pelo fato de que acima deste valor, as usinas não são mais consideradas de pequeno porte e sua operação hidráulica causa maior impacto na operação das outras usinas existentes, programadas e despachadas centralizadamente (ONS, 2009a).

A restrição apresentada às termelétricas tem em vista comercialização da energia elétrica gerada no Ambiente de Contratação Regulada (ACR). Tal restrição é revisada pela Resolução Normativa (RN) nº 228, de 25 de julho de 2006, pois as tecnologias de termelétricas existentes atualmente com geração pura de eletricidade (ou seja, sem cogeração) não atingem eficiência energética superior a 75%. Assim, atendendo a algumas sugestões recebidas de agentes do setor elétrico, a RN visa estabelecer requisitos mais elaborados e mais coerentes que atendam a critérios de racionalidade energética, para certificar centrais termelétricas como Geração Distribuída, sendo que tais requisitos devem cumprir a inequação a seguir:

$$\frac{Et}{Ef} + \frac{Ee}{Ef} \geq 75\% \quad (1)$$

Onde:

Ef Energia da fonte

Et Energia da utilidade eletromecânica

Ee Energia da utilidade calor

Maiores detalhes quanto à certificação são apresentados no texto da Resolução (ANEEL, 2006a).

2.1.2. Como ocorre no mercado da energia produzida pela GD

O Decreto nº 5.163 indica ainda que a venda da energia do gerador distribuído pode ser feita diretamente ao agente distribuidor ao qual está conectado. No artigo 15, é apontado que o distribuidor poderá contratar energia elétrica proveniente de empreendimentos de GD, num montante de até 10% de sua carga, desde que a aquisição seja precedida de chamada pública promovida diretamente pelo agente distribuidor. Este percentual não considera o montante de energia elétrica oriundo de empreendimentos próprios de GD (BRASIL, 2004a).

A GD pode ainda participar, como gerador, de leilões de energia nova e leilões de ajustes, que são regulados e promovidos pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), com a autorização da ANEEL. Além disso, pode haver comercialização da energia de forma direta entre o gerador distribuído e consumidores livres ou comercializadores (RODRIGUES; BORGES; FALCÃO, 2007).

2.1.3. Quanto à forma e localização da GD

Considerando a GD como unidade de geração conectada à rede elétrica de distribuição, consequentemente, sua localização é próxima dos centros de carga. Desta forma, ela pode ser usada para atender o autoconsumo industrial, comercial e residencial, com ou sem produção de excedentes exportáveis à rede; ou para suprir necessidades locais do sistema de distribuição, como por exemplo, atender a expansão da demanda, a demanda no horário de ponta, ou cargas prioritárias em momentos de falta da rede (COGENRIO, 2008). A utilização de centrais de GD interligadas ao sistema elétrico de potência é ilustrada na Figura 2.1 a seguir:

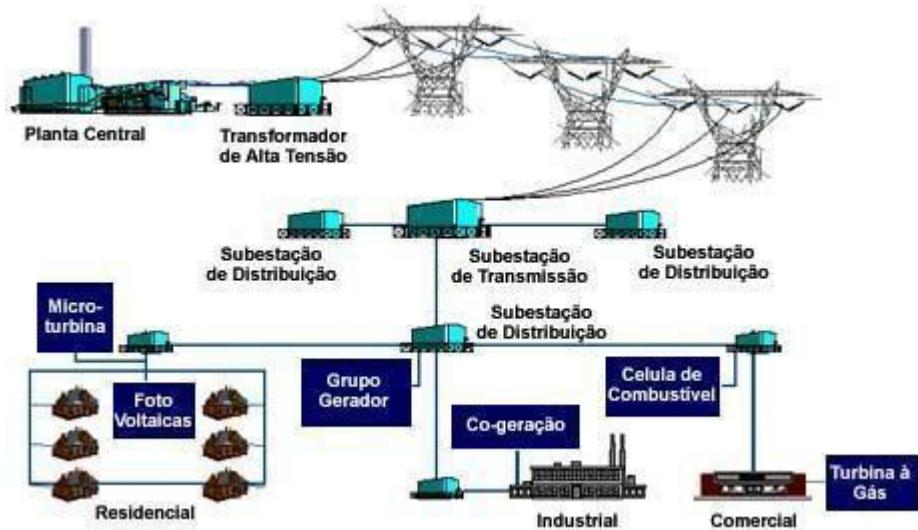


Figura 2.1 – Exemplos de Geração Distribuída conectada ao sistema

FONTE: ENEDIS, 2008

2.1.4. Quanto às tecnologias e recursos naturais que podem ser utilizados como GD

Como pode ser observado na Figura 2.1, diversas são as tecnologias que podem ser empregadas como GD, dentre elas as tecnologias comercialmente difundidas: motores a combustão interna e pequenas centrais hidrelétricas; e as tecnologias em desenvolvimento: módulos fotovoltaicos, aerogeradores, microturbinas a gás e células a combustível. Essa diversidade tecnológica implica em uma flexibilidade quanto à fonte primária de energia a ser utilizada, permitindo o uso de insumos renováveis, como: biomassa, biogás, rejeitos sólidos, água, vento, sol, e de insumos não renováveis: gás natural, diesel, gasolina (RODRÍGUEZ, 2002). Este assunto é abordado com mais atenção no capítulo 3.

2.1.5. Quanto à potência útil dos geradores distribuídos

Em relação à capacidade instalada de uma unidade de Geração Distribuída, a legislação não indica valores máximos específicos. No entanto, ela está limitada de acordo com a capacidade do sistema onde é conectada, ou seja, com a capacidade de transferência de energia elétrica da rede (SILVA, 2002).

Alguns autores classificam a GD quanto a sua capacidade instalada. Ackermann, Anderson e Söder (2001), dentro de um contexto internacional, sugerem a classificação nas seguintes categorias:

- Micro GD: geração com potência de 1 W a 5 kW.
- Pequena GD: geração com potência de 5 kW a 5 MW.
- Média GD: geração com potência de 5 MW a 50 MW.
- Grande GD: geração com potência de 50 MW a 300 MW.

Lora e Haddad (2006) apresentam uma adaptação desta classificação de acordo com as características do setor elétrico brasileiro, e propõem:

- Micro GD: geração com potência até 10 kW.
- Pequena GD: geração com potência de 10 kW a 500 kW.

- Média GD: geração com potência de 500 kW a 5 MW.

- Grande GD: geração com potência de 5 MW a 100 MW.

Já os Procedimentos de Distribuição (PRODIST), publicados pela ANEEL, apresentam em seu Módulo três as faixas de potência de centrais geradoras indicadas para cada nível de tensão das linhas de distribuição, visando à conexão do gerador à rede e ao estabelecimento das proteções mínimas necessárias, como mostrado na Tabela 2.1 (ANEEL, 2008b).

Tabela 2.1 – Faixas de potência indicadas para os níveis de tensão da rede de distribuição

Nível de Tensão de Conexão	Potência Instalada
Baixa Tensão (monofásico)	< 10 kW
Baixa Tensão (trifásico)	10 a 75 kW
Baixa Tensão (trifásico) / Média	76 a 500 kW
Média Tensão / Alta Tensão	501 kW a 30 MW
Alta Tensão	> 30 MW

FONTE: ANEEL, 2008b

O PRODIST foi aprovado recentemente pela Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012 e recentemente foi alterado pela Resolução Normativa nº 687 de 24 de novembro de 2015. Através deste documento, percebe-se que o setor elétrico brasileiro deu início a um trabalho de estabelecimento de critérios para a instalação de GD, atendendo às características do sistema brasileiro. Nele é apresentado um conceito de GD, o qual resume e define para o setor elétrico os

aspectos discutidos anteriormente, complementando o conceito legislativo. Assim, o PRODIST afirma que Geração Distribuída são centrais geradoras de energia elétrica, de qualquer potência, cujas instalações são conectadas diretamente ao sistema de distribuição ou através de instalações de consumidores, podendo operar em paralelo ou de forma isolada à rede elétrica, e despachadas ou não pelo ONS (ANEEL, 2012).

Neste trabalho será considerada esta última definição, com o objetivo de identificar possíveis limitações a essa forma de geração, e melhor contextualizá-la no cenário brasileiro. Na sequência, serão abordadas as contribuições que este tipo de geração pode trazer.

2.2. VANTAGENS DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

A geração em menor escala é um meio de aumentar a reserva de potência em menores prazos em relação aos grandes empreendimentos, favorecendo assim a segurança do fornecimento de energia elétrica. Além disso, diversos são os benefícios que a geração distribuída pode proporcionar à sociedade, ao meio ambiente, ao setor elétrico, e ao consumidor que pretende investir em GD, uma vez estabelecidas suas políticas de gerenciamento e dominados os aspectos envolvidos na sua interação com o sistema elétrico.

2.2.1. Na Sociedade e ao Planeta - Meio Ambiente

Dentro da visão social, a GD permite o desenvolvimento regional, pois promove o aproveitamento de recursos disponíveis localmente, a dinamização de atividades econômicas, e a geração de empregos na região (RODRÍGUEZ, 2002). Outra vantagem é que na ausência de fornecimento de energia elétrica da rede da concessionária, geradores distribuídos podem continuar atendendo a cargas prioritárias como hospitais, aeroportuários, entre outros. E pode também melhorar a qua-

lidade do fornecimento de eletricidade em regiões atendidas de forma deficiente (CONGENRIO, 2008).

A GD pode minimizar impactos ao meio ambiente se sua aplicação evitar a instalação de novas unidades de transmissão e de geração de grande porte (RODRÍGUEZ, 2002). A GD pode também favorecer o uso de fontes renováveis e limpas de energia, além de postergar o uso de tecnologias polêmicas como a nuclear, que apesar de ser considerada limpa quanto à emissão de poluentes responsáveis pelo efeito estufa, ainda não possui solução adequado ao rejeito radioativo produzido.

2.2.2. No Setor de Energia Elétrica

Diversos autores, como: Pinheiro et al. (2005), Rodrigues, Borges e Falcão (2007), Rodríguez (2002), Romagnoli (2005) e Silva (2002), apresentam benefícios da GD para o setor elétrico, os quais são citados abaixo:

- Auxílio no suporte de tensão, ou seja, manutenção do valor da tensão;
- Redução das perdas de potência ativa e reativa nas linhas de transmissão;
- Redução dos riscos de instabilidade de tensão;
- Aumento na confiabilidade do suprimento;
- Diversificação da matriz energética, devido à flexibilidade tecnológica, evitando a dependência exclusiva de apenas alguns tipos de recursos;
- Possibilidade de suprir cargas onde o potencial de expansão dos sistemas de transmissão e distribuição é limitado;
- Redução de custos com transporte de energia; e
- Redução da necessidade de construção de novas usinas de grande porte.

Além desses tópicos, a GD contribui para facilitar o ajuste da previsão no curto prazo o que pode auxiliar o setor com menores riscos de erros no planejamento.

mento da expansão. Com a participação do gerador distribuído nos leilões de energia nova e nos leilões de ajustes, este pode ser utilizado para ajustar a previsão de demanda das distribuidoras mais facilmente. Isso porque as unidades de menor porte têm prazo de implantação mais curto e modalidade de contratação mais flexível, quando comparadas às grandes unidades de geração (RODRIGUES; BORGES; FALCÃO, 2007; RODRÍGUEZ, 2002; ROMAGNOLI, 2005).

Destaca-se que para a constante oferta de energia, é necessário que o aumento da demanda seja previsto pelo setor elétrico e que novos investimentos sejam feitos, o que consiste em um processo cíclico, dinâmico e adaptativo. Dugan, Mcdermott e Ball (2001) discutem, em seu trabalho, o planejamento da expansão da capacidade de sistemas de distribuição. Apresentam um processo de planejamento, em que conceitos já conhecidos do planejamento da distribuição são ampliados e adaptados para conexão de pequenos geradores no sistema de distribuição, trabalhando com estimativa de custos para melhor identificar quando e se a instalação da GD é economicamente viável.

No trabalho em questão, a GD é considerada como uma forma de aumentar progressivamente a capacidade do sistema sem grande investimento, adiando ou evitando investimentos em novas subestações e alimentadores. Primeiramente, o estudo avalia opções menos onerosas como o uso de capacitores e reguladores de tensão, que aumentam a capacidade do sistema a custos menores que 10 dólares por quilowatt, no entanto, minimizam a capacidade de entrega da oferta existente e possuem limite para a quantidade adicional. Outra opção é a construção de novos alimentadores e subestações que aumentam a capacidade do sistema em larga escala, a taxas de 20 a 100 dólares por quilowatt. Este valor é consideravelmente inferior ao custo da GD, que é na faixa de 350 a 3000 dólares por quilowatt, dependendo da tecnologia. Porém, se o degrau de aumento da capacidade for muito maior que o necessário, a GD se torna uma opção viável para adiar, ou até substituir por completo, o alto investimento em subestações. Ou seja, a GD pode ser uma opção econômica se o crescimento da demanda for lento (DUGAN; MCDERMOTT; BALL, 2001).

2.2.3. Na visão do Investidor e do Consumidor

Para o consumidor, investir em uma unidade de GD é interessante somente quando o custo da energia gerada for menor em relação ao da energia proveniente da concessionária ou de um comercializador. Ou então, quando seu sistema elétrico não puder sofrer interrupções no abastecimento ou nas variações na qualidade da energia, como alterações de frequência e tensão elétrica (RODRÍGUEZ, 2002).

Ribeiro, Ferreira e Medeiros (2005) apresentam um exemplo de aplicação de GD por uma empresa de circuitos integrados da Alemanha, a AMD, aonde uma unidade fabril chegou a perder milhões de dólares por causa de problemas de falta de energia e afundamentos de tensão. Por esta razão, foi implantada à fábrica uma unidade de Geração Distribuída para garantir a qualidade do fornecimento da energia, e acoplados outros equipamentos para garantir a qualidade da energia.

Outros meios em que a GD pode favorecer o investidor é utilizá-la no horário de pico; na geração de emergência; e na cogeração, que é o aproveitamento da energia térmica de processo para a produção de energia elétrica, aumentando significativamente a eficiência do uso do recurso energético.

2.2.4. Quais as possíveis reduções de Custos com a GD

Ao consumidor em geral, a instalação de geradores próximos às cargas implica na redução de custo devido a taxas de transporte de energia. O acesso aos sistemas de transmissão pelos fornecedores e consumidores de energia é assegurado mediante ressarcimento do custo do transporte (ANEEL, 1999). Tais custos são referentes à manutenção, investimentos e operação da infraestrutura que envolve o sistema de transmissão (DELBERIS; PADILHA-FELTRIN, 2008).

A Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão (TUST) é regulamentada pela ANEEL e constituída por duas componentes: a TUSTRB (da Rede Básica) que é aplicável a todos os usuários do Sistema Interligado Nacional (SIN); e TUSTFR (de Fronteira), aplicável apenas à concessionária ou permissionária de distribuição que utilize as instalações de fronteira entre a Rede Básica e as Demais Instalações de Transmissão (DIT) (ONS, 2005). Essas tarifas são calculadas de acordo com metodologia disposta no anexo da Resolução nº 281, de 1º de outubro de 1999, com alterações apresentadas na Resolução Normativa nº 117, de 3 de dezembro de 2004 (ANEEL, 1999; 2004b).

A metodologia de cálculo da tarifa é denominada nodal, pois leva em consideração cada subestação ou nó da rede básica, e se baseia na estimativa de custos que os usuários impõem à rede nos períodos de exigência máxima. O custo aplicado aos geradores e cargas pelo uso da rede é dividido na proporção de 50% para cada, e depende da sua localização no sistema (ANEEL, 1999; ANEEL, 2004b; DELBERIS; PADILHA-FELTRIN, 2008).

A barra de referência do sistema, onde são compensadas as injeções incrementais de potência nas tarifas nodais de uso do sistema elétrico, utilizada nos casos de simulação e cálculo da tarifa locacional a ser paga pelo comprador, é a barra associada à usina hidrelétrica de Ilha Solteira, localizada na região sudeste do país (ANEEL, 2005b; ONS, 2005). Ou seja, as taxas são calculadas considerando a localização de cada ponto em relação à barra de referência. Desta forma, os encargos aos cessantes do sistema de transmissão das regiões Norte e Nordeste podem ser maiores devido à distância ao centro de carga. Neste sentido, a energia gerada localmente, sem a necessidade de uso do sistema de transmissão, pode ter seu custo reduzido nessas regiões, o que justifica o uso da GD.

De modo geral, cabem observar que, apesar dos benefícios proporcionados pela GD, estes só podem ser alcançados com o estabelecimento real do seu uso, depois de conhecidas e dominadas as variáveis envolvidas na sua conexão e operação. Assim, são necessários estudos, testes e projetos adequados envolvendo o assunto. Um levantamento destes parâmetros é apresentado no capítu-

lo 4, no capítulo 3 seguintes s ã o abordadas diferentes tecnologias de uso da GD.

3. NOVAS TECNOLOGIAS PARA USO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

O avanço de novas tecnologias de geração elétrica tem motivado o desenvolvimento de incentivos ao uso de fontes de Geração Distribuída, considerado em alguns casos como causa e em outros casos como consequência.

Além da diversidade tecnológica, vem crescendo a flexibilidade de recursos energéticos utilizados. As fontes de energia podem ser classificadas como renováveis e não renováveis, dentro de uma determinada escala temporal e de padrões de utilização. Os recursos não renováveis são aqueles que a natureza não é capaz de repor no mesmo ritmo de uso como, por exemplo, os minérios e combustíveis fósseis (urânio para produção de energia nuclear, petróleo e seus derivados, gás natural e carvão mineral).

Ao contrário destes, os recursos renováveis são capazes de se regenerar por meios naturais, potencialmente inesgotáveis. Tais fontes têm como origem o sol. Prevê-se que, como toda estrela, o sol terá seu fim, porém até que isso aconteça é possível que muitas gerações já tenham passado pelo planeta. Como exemplo de fontes renováveis tem-se energia hidráulica, biomassa, energia solar, energia eólica, energia geotérmica, energia maremotriz (das marés) e energia do hidrogênio.

Existem também os combustíveis renováveis, os quais usam elementos renováveis como matéria-prima, por exemplo, o etanol proveniente da cana-de-açúcar, o bio-óleo ou o biodiesel extraído de plantas oleaginosas, e o biogás produzido pela decomposição de resíduos orgânicos. Mesmo sendo renovável, a queima desses combustíveis ou mesmo da biomassa é prejudicial ao ambiente. Todavia, no que se refere ao gás carbônico (CO₂), o balanço de emissões para

combustíveis provenientes de plantações é nulo (ou negativo), pois existe absorção do gás pela vegetação (SILVA, 2002).

As tecnologias que produzem energia sem queimas de combustível, consideradas limpas, como é o exemplo de aerogeradores, painéis fotovoltaicos, geração hídrica e células a combustível, têm grande valor ambiental por implicarem emissão quase nula de gases poluentes ou de efeito estufa. Porém, não estão livres de impactos, como é o caso da interferência na rota de migração de pássaros e peixes causados respectivamente pela implantação de centrais eólicas e hidrelétricas; e inundação de áreas por grandes hidrelétricas.

A geração de eletricidade, de uma forma ou de outra sempre acarretará em implicações ao meio ambiente, porém umas mais prejudiciais que outras. Cabe assim a valorização por tecnologias que causem menores impactos ambientais, sendo que atualmente as tecnologias com recursos alternativos vêm se desenvolvendo e alcançando eficiências crescentes, além de custos decrescentes no leque de opções.

3.1. EXEMPLOS DE TECNOLOGIAS

Das tecnologias existentes destacam-se entre as mais consolidadas os motores alternativos de combustão interna e centrais hidrelétricas de pequeno porte, e entre as tecnologias emergentes, em processo de amadurecimento tecnológico e comercial, estão as microturbinas a gás, células a combustível, aerogeradores e geradores fotovoltaicos. Estas são abordadas a seguir.

3.1.1. MOTORES ALTERNATIVOS DE COMBUSTÃO INTERNA

O funcionamento dos motores alternativos de combustão interna consiste na conversão de energia química contida no combustível em potência mecânica, através de um conjunto biela-manivela que transforma o movimento alternativo do pistão em movimento rotativo, aplicado ao eixo do motor. Este é acoplado a um gerador elétrico, convertendo assim, movimento em potência elétrica. Esses motores podem sofrer ignição por centelha ou por compressão.

No motor de ignição por centelha, ou motor Otto, a combustão ocorre quando uma faísca é introduzida no cilindro através de uma vela. Os combustíveis usados por este tipo de motor podem ser hidrocarbonetos líquidos, como a gasolina e o etanol, que são voláteis e de elevado poder calorífico, ou combustíveis gasosos, como o gás natural, o gás liquefeito de petróleo (GLP), e gases provenientes de biodigestores ou de aterros sanitários.

No motor de ignição por compressão, ou motor diesel, ocorre combustão espontânea da mistura ar-combustível quando atingem elevada temperatura de corrente do processo de compressão. Neste caso, os combustíveis usados são hidrocarbonetos líquidos menos voláteis e mais densos, como o diesel e o biodiesel.

Esta tecnologia é amplamente dominada e disponível comercialmente. Sua capacidade está usualmente entre 5 kW e 30 MW e sua eficiência varia de 25% a 45%. Estes motores permitem a recuperação de grandes parcelas de calor através de sistemas de cogeração, melhorando a eficiência global do sistema, que pode ultrapassar 80%. Algumas desvantagens que podem ser citadas em relação a esses motores são a emissão de poluentes, a poluição sonora e frequentes intervalos de manutenção (ANDRADE, 2007; LORA; HADDAD, 2006).

3.1.2. MICROTURBINAS A GÁS

As microturbinas a gás têm seu desenvolvimento baseado nas turbinas a gás convencionais, que também são motores de combustão interna, porém rotativos. Evoluíram a partir de turbinas na indústria aeroespacial e automotiva para aplicações em sistemas elétricos de potência. Apresentam modularidade, tamanho compacto e baixa relação peso/potência (ANDRADE, 2007; BONA; RUPPERT FILHO, 2004)

A faixa de capacidade das microturbinas é de 25 kW a 500 kW e a eficiência entre 20% e 30%, com recuperação de calor e 15% sem recuperador. Também são aplicadas em sistemas de cogeração, em que a eficiência total pode ultrapassar 80%. Exemplos dos combustíveis que podem ser utilizados é gás natural, GLP, hidrogênio, diesel, biodiesel e biogás (ANDRADE, 2007).

Esta tecnologia teve grandes avanços nos últimos anos. É comercialmente recente e competitiva somente em instalações com cogeração. Em relação aos motores alternativos, as microturbinas têm vantagens como maiores intervalos de manutenção, menores níveis de ruído e emissão de poluentes reduzida. No entanto, não atingem os mesmos valores de eficiência sem cogeração e pode haver perda de capacidade de potência e de eficiência em locais de elevada temperatura e altitude (BONA; RUPPERT FILHO, 2004; LORA; HADDAD, 2006).

3.1.3. CÉLULAS A COMBUSTÍVEL

A célula a combustível é um dispositivo eletroquímico capaz de converter energia química de um combustível diretamente em energia elétrica, sem a necessidade de uma etapa térmica intermediária, como ocorre em máquinas térmicas

(ANDRADE, 2007; RODRÍGUEZ, 2002). Estes dispositivos operam de forma similar às baterias elétricas, no entanto, o armazenamento de eletricidade é substituído pela alimentação constante de um combustível, implicando na produção contínua de eletricidade (SILVA; et al., 2003).

As células a combustível existentes se distinguem em função do tipo de eletrólito usado, estando elas em estados variados de desenvolvimento. Em alguns casos, a produção de calor pela reação eletroquímica pode ser aproveitada para geração de eletricidade em sistema de cogeração.

A célula de ácido fosfórico PAFC (*phosphoric acid fuel cell*), alimentada com gás natural, de 200 kW, é a única em estágio comercial, porém ainda com elevado custo. Sua eficiência é de 36% a 45%, permite aplicação em cogeração, é compacta, e produz baixo ruído e emissões desprezíveis de poluentes (ANDRADE, 2007; SILVA; et al., 2003).

Outras células em desenvolvimento e estágio pré-comercial são: célula de carbono fundido (MCFC – *molten carbonate fuel cell*); célula de membrana polimérica (PEFC – *polymer electrolyte fuel cell*); célula de óxido sólido (SOFC – *solid oxide fuel cell*); e células com membrana para troca de prótons (PEMFC – *proton exchange membrane fuell cells*) (ANDRADE, 2007; LORA; HADDAD, 2006).

Além do elevado custo, uma desvantagem das células a combustível é a limitação no armazenamento do hidrogênio (LORA; HADDAD, 2006). Porém, pesquisas já vêm sendo desenvolvidas para atender essa questão.

3.1.4. AEROGERADORES

Os geradores eólicos, ou aerogeradores, produzem eletricidade a partir da captação da energia cinética do vento, através de pás que fazem girar um eixo, este por sua vez transfere a rotação para um gerador elétrico, que produz a eletricidade. O aproveitamento eólico é bastante antigo, porém, o desenvolvimento tecnológico e comercial dos geradores eólicos de eletricidade é recente.

A evolução e a redução de custo desta tecnologia nos últimos anos vêm despertando cada vez mais o interesse de empresas de energia. Consequentemente, a participação da geração eólica na matriz elétrica vem expandindo no país e no mundo. De acordo com Lima (2009), em dezembro de 2008, a capacidade instalada de geradores eólicos no mundo era superior a 120.000 MW. No Brasil, atualmente, o Banco de Informações de Geração (BIG), da ANEEL, aponta 33 Centrais Geradoras Eolielétricas (CGE) em operação, com aproximadamente 417 MW instalados (ANEEL, 2009a).

O potencial eólico brasileiro é favorecido, tanto na presença de vento quanto na oscilação reduzida da velocidade, o que dá maior segurança na previsão da energia a ser produzida. Outra característica é que a velocidade do vento costuma ser maior em períodos de estiagem. Assim, as usinas eólicas podem operar em complementaridade às usinas hidrelétricas, de forma a preservar a água dos reservatórios em períodos de pouca chuva (ANEEL, 2008a).

O impacto ambiental dos aerogeradores é pequeno, pois não há emissão de poluente durante geração de energia. Outras vantagens do uso de energia proveniente dos ventos são: curto período de construção; pequena ocupação de terreno, que pode ser aproveitado para outras atividades simultaneamente; e capacidade de serem adaptados sob medida a usos e localizações específicas. Alguns problemas apontados para essa tecnologia são: ruídos; acidentes com aves e alteração de suas rotas de migração; e interferência eletromagnética, que pode afetar o desempenho de sistemas de telecomunicação, dependendo do material usado nas pás (HINRICHSH; KLEINBACH, 2003).

Este tipo de sistema necessita de espaços amplamente abertos e velocidades específicas de vento, assim, é importante que haja estudos da geografia local como relevo, vegetação e interações térmicas entre a superfície da terra e a atmosfera, pois suas características interferem na densidade do ar, na intensidade, na direção e na velocidade do vento. (ANEEL, 2008a; HINRICHES; KLEIN-BACH, 2003).

3.1.5. PAÍNEIS FOTOVOLTAÍCOS

O gerador fotovoltaico é um dispositivo capaz de converter a radiação solar diretamente em eletricidade, usando uma característica intrínseca do material que o constitui. Este tipo de gerador é formado por um conjunto de módulos fotovoltaicos, os quais são constituídos por uma associação série/paralelo de células fotovoltaicas construídas com material semicondutor dopado com outros elementos (Boro e Fósforo são bastante usados atualmente). Com a dopagem, forma-se uma junção pn internamente ao material, o que produz um campo elétrico interno que inibe a recombinação das cargas elétricas criadas pelos fótons provenientes da radiação solar absorvida, ao mesmo tempo, este campo elétrico separa estas cargas, criando uma diferença de potencial nas extremidades do material (ANEEL, 2008a; GTES; CEPEL; CRESESB, 2004).

Quanto maior a intensidade de luz, maior o fluxo de energia elétrica gerada, desta forma, observa-se que a quantidade de energia produzida varia de acordo com condições atmosféricas, como a presença de nuvens (ANEEL, 2008a).

Os painéis fotovoltaicos são modulares, podem ser combinados em pequena quantidade na produção de energia em menor escala para estabeleci-

mentos residenciais e comerciais; ou combinados em grande quantidade formando as usinas ou parques solares, produzindo energia em maior escala.

Uma característica de destaque desta tecnologia é a total ausência de emissão de poluentes durante a produção de energia. Além disso, apresenta vida útil prolongada e necessidade mínima de manutenção (LORA; HADDAD, 2006). No entanto, apesar de já atingir estágio comercial, os painéis fotovoltaicos têm elevados custos, inviabilizando-os economicamente. Tanto que muitas das instalações fotovoltaicas no mundo hoje existem devido a incentivos públicos.

As principais células fotovoltaicas existentes são as de silício monocristalino, de silício multicristalino e de silício amorfo, sendo que a eficiência das células de silício cristalino, com maior representatividade no mercado, atinge valores na faixa de 12 a 16% (GTES; CEPEL; CRESESB, 2004). Existem ainda outros tipos de células em desenvolvimento que buscam maior eficiência e redução no custo dos painéis, com o intuito de tornar maduro o processo de comercialização destas tecnologias.

Devido aos seus elevados custos, a participação da energia solar fotovoltaica é pouco expressiva na matriz elétrica mundial. Mesmo sendo uma das tecnologias de maior crescimento na geração de eletricidade, sua potência total instalada, registrada em 2007, atingiram 7,8 mil MW. No Brasil, apesar das boas condições em termos de radiação solar, sua participação na matriz elétrica é bastante reduzida. Os painéis instalados, na maioria das vezes localizada em regiões afastadas sem acesso à rede, normalmente fazem parte de pesquisas e implantação de projetos pilotos da tecnologia. Em alguns casos, já ocorre à geração fotovoltaica nos centros urbanos, a maioria dentro de centros de pesquisa, e apenas algumas unidades instaladas em residências e conectadas à rede de distribuição de eletricidade. O BIG apresenta apenas uma usina fotovoltaica, denominada Araras, situada no município de Nova Mamoré, em Rondônia, com potência instalada de 20,48 kW. Esta instalação foi um projeto piloto que incluiu a geração fotovoltaica em paralelo à geração Diesel que originalmente abastecia o Sistema Isolado da localidade, visando à diminuição do consumo de Diesel na região, seja por questões ambientais, seja por questões econômicas (o Diesel usado nestas localidades possui valores bem superiores aos encontrados nos grandes centros urbanos) –

Sistema Isolado é a denominação está dada a todos os sistemas elétricos do território brasileiros não pertencentes ao Sistema Interligado Nacional (ANEEL, 2008a; 2009a).

Contudo, recentes pesquisas apontam que, com o dinâmico avanço tecnológico que vem conquistando, esta forma de produção de eletricidade terá condições de se tornar competitiva em poucos anos, principalmente em regiões onde a tarifa elétrica da rede é elevada e o recurso solar está disponível com maior intensidade, como por exemplo, em algumas cidades da região nordeste do país: Fortaleza, João Pessoa e Maceió (BENEDITO, 2009).

Cabe citar que além do sistema fotovoltaico, o aproveitamento solar pode ser feito através de sistemas heliotérmicos, em que a irradiação é convertida em calor que é utilizado em usinas termelétricas para então ser produzida a eletricidade.

3.1.6. PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS - PCH

De acordo com a Resolução nº 652, de 9 de dezembro de 2003, considera-se Pequena Central Hidrelétrica (PCH) o aproveitamento hidrelétrico cuja potência é superior a 1.000 kW e igual ou inferior a 30.000 kW, a área do reservatório não pode ser superior a 3,0 km², e é destinado a produção independente, autoprodução ou produção independente autônoma.

No caso de usina com potência menor ou igual a 1 MW, o empreendimento é denominado Central Geradora Hidrelétrica (CGH) ou Micro Central Hidrelétrica (MCH). Acima de 30 MW, o aproveitamento é classificado em Usina Hidrelétrica de Energia (UHE).

Uma PCH normalmente opera a fio d'água, neste caso o reservatório da usina não permite a regularização do fluxo d'água, o nível do volume do reservatório não deve sofrer alterações. Assim, em época de estiagem a vazão disponível pode ser menor que a capacidade das turbinas, causando ociosidade. E se as vazões forem maiores que a capacidade de engolimento das máquinas, a água excedente deve ser vertida (LORA; HADDAD, 2006; PORTAL PCH, 2009).

Apesar da desvantagem de não haver o controle de fluxo, esse tipo de operação faz uso de instalações que resultam em menores impactos ambientais por não precisarem de reservatórios extensos, o que implica em menor área de alagamento.

Em rios de pequeno e médio porte que possuam desníveis significativos em seu percurso, gerando potência hidráulica suficiente para movimentar as turbinas, as PCHs se mostram bastantes promissoras como fontes de Geração Distribuída, uma vez que sua tecnologia é totalmente de domínio nacional e, no Brasil, o preço do combustível utilizado, a água, ainda não é cobrada. Portanto, o custo deste tipo de geração está associado apenas à instalação e manutenção.

3.2. O CUSTO DAS TECNOLOGIAS

Apesar do avanço recente de diferentes tecnologias como aerogeradores, geradores fotovoltaicos, microturbinas a gás e células a combustível, sua disseminação ainda é limitada. Este fato se deve ao elevado custo destes equipamentos, o que dificulta o estabelecimento de um mercado consistente. Observa-se, através da Tabela 3.1, o valor da instalação das tecnologias emergentes em relação às consolidadas, como os motores alternativos de combustão interna.

Tabela 3.1 – Custos de instalação das tecnologias

Tecnologia	Custos de Equipamentos (\$/ kW)	Outros custos da instalação (\$/kW)
Motor alternativo de ignição por	300 a 700	150 a 600
Motor alternativo a diesel	200 a 700	150 a 600
Microturbina a gás sem recupera-	700 a 1.000	250 a 600
Microturbina a gás com recupera-	900 a 1.300	250 a 600
Célula a combustível de ácido	3.000 a 4.000	360
Gerador fotovoltaico	5.000 a 10.000	150 a 300
Gerador eólico	1.000 a 3.600	500 a 4.000

FONTE: RDC, 2009

Nesta tabela, o custo de instalação é dividido em custo dos equipamentos que inclui o montante de custo de todos os equipamentos necessários para a instalação, sejam eles: motor, gerador, inversor, entre outros, inclusive equipamentos auxiliares; e o custo do restante da instalação que se refere a questões como mão-de-obra, local da instalação, processo de interligação ao sistema e taxas (RCD, 2009).

Com esses dados, pode-se afirmar que, do ponto de vista econômico, as tecnologias emergentes não se tornam atrativas, por exigirem alto valor de investimento inicial (MATZ; SZKLO, 2007; RODRÍGUEZ, 2002).

Porém, em alguns casos, os custos de instalação podem ser amortizados durante a geração, pois tecnologias que fazem uso de fontes renováveis têm consumo de baixo custo ou mesmo nulo. De acordo com Shayani, Oliveira e Camargo (2006), as fontes de energia que utilizam combustíveis fósseis têm custos totais elevados, apesar do baixo custo de instalação dos motores alternativos de combustão interna, devido ao elevado valor de compra de combustíveis como o petróleo, carvão e outros.

Para quantificar o exposto por Shayani, Oliveira e Camargo (2006), a Tabela 3.2 apresenta custos de produção de energia elétrica baseados no tipo de combustível usado, que incluem o valor do combustível, de operação e manutenção. Os dados apresentados representam os valores de geração no setor elétrico brasileiro (ANEEL, 2008a).

Tabela 3.2 – Custos de produção de energia pelo tipo de geração

Tipo de Geração	Custos de produção de energia elétrica (R\$/MWh)
Termelétrica a óleo diesel	491,61
Termelétrica a óleo combustível	330,11
Gerador eólico	197,95
Termelétrica a gás natural	140,60
Usina nuclear	138,75
Termelétrica a carvão nacional	135,05
Termelétrica a carvão importado	127,65
Termelétrica a gás natural liquefeito	125,80
Usina Hidrelétrica	118,40
Pequena central hidrelétrica	116,55
Termelétrica a biomassa	101,75

FONTE: ANEEL, 2008a

Outros fatos devem, também, ser observados quando se dá valor às tecnologias. Além de questões econômicas, variáveis ambientais devem ser consideradas. A Tabela 3.3 mostra a taxa de emissão de gases poluentes para as tecnologias apresentadas por RCD (2001), durante a geração de energia.

Tabela 3.3 – Emissões de poluentes das tecnologias durante a geração de eletricidade

Tecnologia	Emissões na geração
Motor alternativo de ignição por centelha	NOx: 0,7 a 42 g/kWh CO: 0,8 a 27 g/kWh
Motor alternativo a diesel	NOx: 6 a 22 g/kWh CO: 1 a 8 g/kWh
Microturbina a gás sem recuperação de calor	NOx: 9 a 125 ppm CO: 9 a 125 ppm
Microturbina a gás com recuperação de calor	NOx: 9 a 125 ppm CO: 9 a 125 ppm
Célula a combustível de ácido fosfórico	NOx: 0,007 g/kWh CO: 0,01 g/kWh
Gerador fotovoltaico	-
Gerador eólico	-

FONTE: RDC. 2001

Percebe-se que as menores emissões correspondem às tecnologias cujas instalações são mais caras. No entanto, a forma tradicional de avaliação de custos das fontes de energia não considera valores ambientais (MATZ; SZKLO, 2007). Se assim fosse, as tecnologias emergentes, principalmente as que utilizam fontes renováveis, passariam a ser mais competitivas.

Outra dificuldade para as tecnologias emergentes é ganhar espaço no mercado já estabelecido e adequado para as fontes convencionais. O parágrafo abaixo, apresentado por Lucon e Goldemberg (2009), demonstra tal situação.

No que se refere à produção de eletricidade, as fontes “novas” renováveis (biomassa, eólica, pequenas centrais hidrelétricas) são consideradas ainda caras, em

razão do preço obtido pela energia nos leilões de aquisição promovidos pelo governo federal. A energia das usinas de Santo Antônio e Jirau, no Rio Madeira, atingiu um valor inferior a R\$ 80/MWh, enquanto a das usinas a biomassa foi contratada por uma receita fixa de R\$ 156/MWh e os geradores eólicos pleiteiam mais de R\$ 200/MWh. De acordo com esse modelo, vencem os leilões os empreendedores que oferecerem uma energia a menor custo quando a usina começar a funcionar independentemente da qualidade. Aparentemente esse é um bom sistema porque favorece os consumidores, mas tem o resultado perverso que favorece também as usinas que podem ser construídas rapidamente, mesmo que sejam poluentes. Essa é uma receita perfeita para comprar o pior.

Assim, pode-se considerar que, atualmente, apesar do desenvolvimento já alcançado por novas tecnologias, o elevado seu custo de implantação e o alto valor de venda da energia proveniente desses empreendimentos, que não torna atrativa a sua comercialização, são entraves à disseminação da GD. Conclui-se, assim, que há a necessidade de se criar políticas de fomento que apoiem o uso dessas fontes de geração e direcionem a abertura do mercado de energia elétrica do país (RODRÍGUEZ, 2002). Todavia, existem outras limitações envolvidas com o crescimento da GD, dentre elas estão às questões técnicas ligadas à interconexão ao sistema elétrico, que são abordadas no próximo capítulo.

4. PONTO DE CONEXÃO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA À REDE ELÉTRICA

Apesar dos benefícios inerentes à GD, a integração de geradores à rede de distribuição de energia elétrica exige uma visão ampla de sistema, pois, além das linhas de baixa tensão ser projetadas para a proteção em um único sentido de flu-

xo de potência, algumas tecnologias de Geração Distribuída difere das tecnologias tradicionalmente adotadas pelo setor elétrico brasileiro. Ou seja, as grandes usinas de geração de energia elétrica que compõem a geração centralizada fazem uso de geradores síncronos, ao passo que os tipos de tecnologias usadas como GD podem ser, tanto máquinas síncronas, como máquinas de indução, ou então fazer uso de outras formas de estrutura para o fornecimento de energia.

No caso de plantas de GD de grande porte, como por exemplo, termelétricas a gás natural, utilizam-se também geradores síncronos. Porém, nem sempre a metodologia de controle adotada para esses geradores na distribuição são as mesmas consideradas para os geradores centralizados.

As unidades de geração conectada à rede de transmissão têm seu regulador de velocidade ajustado para manter a operação com frequência constante, e o sistema de excitação controlado de forma a manter a tensão terminal constante. Já os geradores conectados à distribuição, normalmente, são operados mantendo a potência ativa constante. E para seu sistema de excitação há duas formas de controle que podem ser empregadas, mantendo a tensão constante ou mantendo o fator de potência constante, ou seja, controlando a produção de energia reativa.

Com as unidades de pequeno e médio porte, frequentemente, faz-se uso de geradores assíncronos, ou geradores de indução. O uso deste tipo de máquina para a geração foi impulsionado pela difusão das turbinas eólicas. E embora a maioria delas seja empregada em parques eólicos, estas máquinas também têm sido utilizadas em usinas termelétricas e hidrelétricas. Este tipo de gerador muitas vezes necessita de compensadores síncronos devido a sua falta de capacidade de regulação, além de absorver potência reativa da rede.

No caso dos micro sistemas de geração, como células a combustível, micro centrais hidrelétricas, geradores fotovoltaicos, ou mesmo baterias de armazenamento, a energia é produzida em corrente contínua. Para esta situação existe a necessidade de conversores adequados para a conexão do gerador à rede elétrica, que atendam aos critérios técnicos estabelecidos pela legislação ou pela concessionária (ABREU, 2005; FREITAS; et al., 2005b; GOMES; et al., 2000; e SILVA, 2002).

Assim, com a variedade tecnológica apresentada, pode-se observar que existem diversas variáveis envolvidas na conexão de GD à rede, o que leva a necessidade de uma análise mais profunda e complexa de planejamento e operação para que sejam atendidas as características de operação estabelecidas pelas agências reguladoras e fiscalizadoras do setor elétrico.

Outro fato, no Brasil, é a complexidade do Sistema Interligado Nacional que exige uma série de cuidados específicos independentes de regras estabelecidas em outro país, uma vez que se trata de um sistema interligado de grande porte (SILVA, 2002). Para ilustrar essa forte característica do sistema elétrico brasileiro, a Figura 4.1 apresenta o sistema de transmissão brasileiro (ONS, 2008). E a Figura 4.2 mostra a projeção dessa rede sobre o território europeu, podendo, desta forma, ser visualizada a dimensão do SIN (CIGRÉ, 2006).

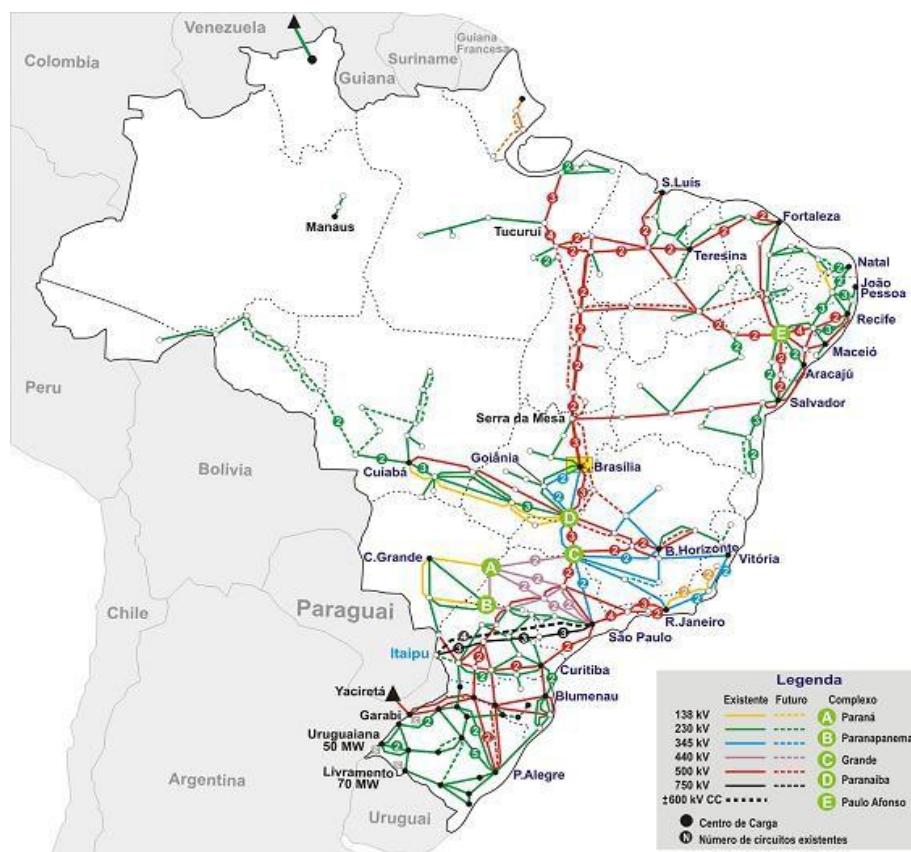


Figura 4.1 – Mapa da rede de transmissão do sistema interligado brasileiro

FONTE: ONS, 2008

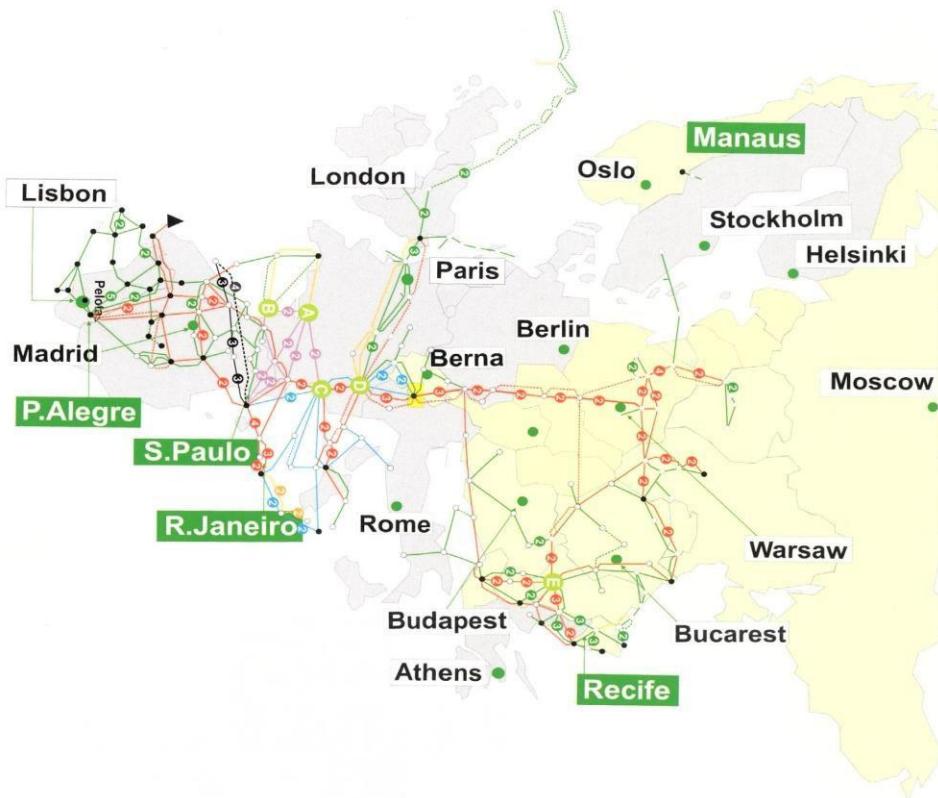


Figura 4.2 – Sistema de transmissão brasileiro projetado sobre o território europeu.

FONTE: CIGRÉ, 2006.

Além da extensão do sistema, sua complexidade se dá pelo número de variáveis necessárias para o seu adequado modelamento matemático, o que resulta em maior complexidade de operação e de planejamento. Outra característica que vale ressaltar, é que devido a sua estrutura, o sistema permite apenas um erro ou falha, e um problema local pode se propagar pelo sistema interligado e atingir todas as instalações do país e ocasionar um *blackout* (MONTICELLI; GARCIA; 2000).

Dado esse contexto, o setor necessita da padronização de regras para a conexão da GD que englobe fatores de controle da operação. Pode-se afirmar, as-

sim, que uma das principais dificuldades da inserção da GD está relacionada aos problemas técnicos de compatibilidade com a rede de distribuição (SILVA, 2002).

Deste modo, com o objetivo de nortear o caminho de implantação da Geração Distribuída de forma confiável, será apresentado a seguir o levantamento bibliográfico dos aspectos técnicos que estão envolvidos na possibilidade de conexão de GD ao sistema de distribuição de energia elétrica.

4.1. TIPOS DE CONEXÃO

De acordo com o Decreto nº. 2003, de 10 de setembro de 1996, apresentado na seção 5.1, os agentes geradores Produtor Independente de Energia e Autoprodutor têm livre acesso aos sistemas de distribuição para a interconexão de geradores próprios (BRASIL, 1996). A forma de conexão pode ocorrer das seguintes maneiras:

4.1.1. Paralelismo momentâneo

Através da operação de paralelismo momentâneo, há o acoplamento entre duas fontes de energia para permitir a transferência de carga entre elas, no caso, o gerador distribuído e a rede da concessionária. Para ocorrer o acoplamento, dispositivos do sistema têm a função de sincronizar e compatibilizar as grandezas elétricas entre as duas fontes. A conexão é mantida por tempo necessário para que o gerador assuma a carga alimentada pela rede e desligue o disjuntor da rede ou então para que devolva a mesma para a rede e desligue o disjuntor do gerador na ocasião de retorno da alimentação pela concessionária. Neste processo não

há interrupção no atendimento às cargas (AES ELETROPAULO, 2009; CELPE, 2007).

4.1.2. Paralelismo Permanente

Neste tipo de conexão há também o acoplamento entre o gerador e a rede de distribuição na qual as grandezas elétricas são sincronizadas e compatibilizadas. A diferença para a conexão descrita anteriormente é que os disjuntores da rede e do gerador permanecem fechados durante o período de funcionamento do gerador. Desta forma, a Geração Distribuída pode assumir toda ou parte da carga que lhe cabe alimentar, mantendo-se em tal condição até que seja dado o comando para o gerador devolver a carga à rede e haver a abertura do disjuntor do gerador. Neste processo também não ocorre nenhum tipo de interrupção às cargas durante o acoplamento e o desacoplamento do disjuntor do gerador (AES ELETROPAULO, 2009; BRIGHENTI, 2003)

4.1.3. Transferência Automática Rede/Gerador

Esta forma de operação é isolada, não há paralelismo entre o gerador e a rede, ou seja, os sistemas não operam em conjunto. Durante a transferência da carga entre as fontes ocorre uma microinterrupção na alimentação das cargas. O processo de transferência da carga da rede para o gerador dura em média de 10 a 15 segundos, e o retorno da carga para a concessionária num intervalo médio de 100 a 200 milissegundos. Nessas condições, os motores em movimento conectados ao sistema, por não receberem energia, geram tensão. Assim, no intervalo de transferência, a energia elétrica percorre o circuito em sentido inverso,

contrapondo à fornecida pela fonte que assume a carga, podendo provocar perturbações no sistema e até queima de equipamentos (AES ELETROPAULO, 2009; PERFECTUM, 2009).

Nesse tipo de conexão, faz-se uso de chave reversora ou comutadora de fonte. Esses equipamentos podem ser simplesmente manuais como do tipo faca, ou até com recursos mais sofisticados com controles eletrônicos digitais, comandos e sinalizações locais e remotas, e dos tipos de estado sólido, de ação ultrarrápida. Os dispositivos que compõem a transferência automática devem estar completamente isolados eletricamente, para impossibilitar o paralelismo entre a rede e o gerador, e evitar assim possíveis problemas (AES ELETROPAULO, 2009; PERFECTUM, 2009).

Atualmente, as questões técnicas que envolvem a conexão de geradores na distribuição não são amplamente conhecidas e, devido ao fato de não ser possível afirmar o grau de impacto que a implantação dessas unidades de GD pode causar à rede, principalmente quando há interação das fontes de energia, o uso da conexão isolada de Geração Distribuída (transferência automática) torna-se mais frequente, pois esta conexão não exige a solução de alguns desafios de quando há injeção de eletricidade à rede de distribuição. Alguns exemplos desses desafios, citados por Gonçalves (2004), são apresentados a seguir:

- Implantação de esquemas especiais de proteção;
- Controle da qualidade da energia a ser injetada na rede;
- Sincronismo no religamento da rede em caso de falta;
- Ilhamento;
- Controle de estabilidade; e

- Complexidade no nível de operação e do despacho de geração.

Todas essas questões devem ser discutidas quando se trata de paralelismo com a rede, seja ele momentâneo ou permanente. Assim, estas formas de conexão exigem análises mais profundas quanto ao nível de curto circuito, ao fluxo de potência, à proteção do sistema, e a possíveis impactos que a GD pode trazer, além dos requisitos necessários de conexão e operação que esta deve atender. Todos esses parâmetros são abordados nos tópicos seguintes, tomando-se como base bibliografias disponíveis na literatura científica e técnica do setor elétrico (ANEEL, 2008; LORA; HADDAD, 2006; OCHOA-PIZZALI, 2006; RIBEIRO; FERREIRA; MEDEIROS, 2005).

4.2. CONDIÇÕES DE CONEXÃO

A eletricidade a ser disponibilizada na rede pelo gerador distribuído deve atender parâmetros de qualidade, confiabilidade e segurança de acordo com as exigências da concessionária responsável pelo local da instalação e com os critérios estabelecidos pela ANEEL.

No PRODIST, em “Acesso ao Sistema de Distribuição” do Módulo 3, são apresentadas as condições e requisitos necessários para que a conexão de centrais geradoras de energia elétrica ao sistema de distribuição possa ser realizada. Estes tópicos são apresentados a seguir (ANEEL, 2008b).

- Para conectar-se à rede, o gerador deve fornecer energia em corrente alternada, ajustada a frequência de 60Hz.
- Limitações dos equipamentos ou tempo de recomposição das instalações do produtor devem manter a flexibilidade de recomposição do sistema de distribuição.

- O paralelismo não pode causar problemas técnicos ou de segurança aos demais usuários (ou acessantes) do sistema de distribuição.
- Deve haver um sistema de comunicação entre a unidade de geração e a distribuidora de energia (acessada) em que se conectará, para um melhor desempenho da operação em paralelo.
- A adequada sincronização do gerador à rede é de responsabilidade única do acessante.
- Caso ocorra desligamento, o paralelismo deve ser desfeito antes da subsequente tentativa de religamento, pelo sistema de proteção do acessante.
- Para o paralelismo permanente, o gerador distribuído deve atender aos requisitos técnicos de operação estabelecidos pela concessionária responsável pela rede que se conectará, observando os procedimentos operativos apresentados no Módulo 4 dos procedimentos de distribuição.
- Tanto acessada como acessante devem definir como serão os arranjos da interface dos sistemas, no acordo operativo.
- É de responsabilidade do acessante realizar estudos básicos da influência da geração no sistema em que se conectará, avaliando nível de curto-circuito; capacidade de disjuntores, barramentos, transformadores de instrumento e malhas de terra; adequação do sistema de proteção envolvido na integração das instalações do acessante e revisão dos ajustes associados, observando-se estudos de coordenação de proteção, quando aplicáveis; e ajuste dos parâmetros dos sistemas de controle de tensão e de frequência e, para conexões em alta tensão, dos sinais estabilizadores.
- São também de responsabilidade do acessante, e dependentes de aprovação da distribuidora, os estudos operacionais necessários à conexão das instalações de geração ao sistema.
- As centrais geradoras devem operar dentro dos limites de frequência situados entre 59,9 Hz e 60,1 Hz, quando em condições normais de operação e em regime permanente. Na ocorrência de distúrbios no sistema de distribuição, as instalações de geração devem garantir que a frequência retorne para a faixa de 59,5 Hz a 60,5 Hz, no prazo de trinta segundos após sair desta faixa, para permitir a recuperação do equilíbrio carga-geração. Outros limites relacionados à freqüência em casos de recuperação de equilíbrio carga-geração são apresentados no Módulo 8 dos procedimentos de distribuição.

- As tensões de conexão padronizadas para baixa, média e alta tensão são mostradas na tabela abaixo.

Tabela 4.1 – Tensões nominais padronizadas para baixa, média e alta tensão

SISTEMA		TENSÃO NOMINAL
Baixa tensão (BT)		
Trifásico	220 / 127 V	
	380 / 220 V	
Monofásico	254 / 127 V	
	440 / 220 V	
Média (MT)		
Trifásico	13,8 kV	
	34,5 kV	
Alta tensão (AT)		
Trifásico	69 kV	
	138 kV	

FONTE: ANEEL, 2008b – Adaptado

- O acessante deve garantir que suas instalações operem observando as faixas de fator de potência estabelecidas nos Procedimentos de Rede - Submódulo 3.6 (ONS, 2009), que aponta que em potência ativa nominal a unidade geradora deve ser capaz de operar com fator de potência mínimo de 0,90 sobreexcitado; e fator de potência mínimo de 0,95 subexcitado.

- Cabe ao acessante calcular, e a acessada aprovar, os ajustes das proteções das instalações. Para isso, devem ser observados os requisitos apresentados na seção 3.3 do Módulo 3 do PRODIST. E devem estar definidos no acordo operativo os procedimentos de operação da proteção do sistema elétrico do acessante, conforme a seção 3.5, do Módulo 3 do PRODIST.

- O acessante deve garantir que, ao se conectar à rede, os parâmetros de qualidade de energia, como distorções harmônicas; desequilíbrio de tensão; flutuação de tensão; e variações de tensão de curta duração, ao conectar suas instalações de geração, não tenham seus valores de referência estabelecidos em regulamentação específica violados. E na operação do sistema de distribuição, a acessada deve observar, quando estabelecidos, os valores limites globais para os mesmos parâmetros citados no item anterior. Mantendo assim em conformidade a forma de onda e amplitude da tensão da energia no sistema (ANEEL, 2008b).

Todos esses aspectos técnicos de interconexão são de grande importância para garantir que não haja prejuízo aos demais consumidores conectados a mesma rede de distribuição e às próprias instalações do gerador, promovendo a qualidade da energia elétrica e a qualidade de seu fornecimento.

No entanto, tais aspectos servem como parâmetro para as especificações estabelecidas pela concessionária, que diferem de empresa para empresa e de região para região. Mesmo a concessionária sendo obrigada a fornecer o ponto de conexão, se a instalação de Geração Distribuída não for de seu interesse, as solicitações impostas por ela para efetivar a interconexão podem desestimular e servir como barreira à implementação da GD (RODRÍGUEZ, 2002).

4.3. CURTO-CIRCUITO NA REDE de GERAÇÃO

O curto-circuito na rede elétrica pode ser definido como uma conexão anormal entre partes energizadas com diferentes níveis de tensão em que praticamente não há impedância, decorrendo normalmente em um aumento excessivo de corrente, podendo provocar reações violentas devido à dissipação instantânea de energia e danificar os equipamentos e instalações, tanto da concessionária, como do gerador.

Desta maneira, durante o projeto de implantação de uma planta de GD, é importante que seja feito um estudo que determine todos os níveis de curto-circuito nos diversos pontos do sistema, sejam eles já existentes ou não. Esses pontos são: os terminais de cada gerador; os barramentos de distribuição de energia; os lados primários e secundários dos transformadores elevadores e abaixadores; os centros de controle de motores; e os demais locais do sistema que possam ter influência na operação do gerador com a rede de distribuição (BRIGHENTI, 2003 e LORA; HADDAD, 2006).

Para o estudo, a concessionária deve informar ao consumidor os níveis de curto-círcuito no ponto mais próximo da interligação, e as características da linha como a impedância e a distância entre alimentadores e ponto de interligação, que têm interferência direta nos níveis de curto-círcuito. Todas as fontes de curto-círcuito do sistema devem ser consideradas, e suas respectivas impedâncias devem ser conhecidas. Assim, com dados da concessionária e características do projeto de instalação, métodos computacionais podem ser usados para calcular níveis de curto circuito (BRIGHENTI, 2003).

De acordo com Ochoa-Pizzali (2006), processos de cálculo de corrente de curto-círcuito são amplamente divulgados na literatura. As técnicas aplicadas para o sistema tradicional podem ser utilizadas para a análise de curto-círcuito do sistema com geradores distribuídos. Em seu trabalho, Ochoa faz uso de um método baseado em componentes simétricas, utilizando uma formulação matricial e valores de corrente de pré-falta, em que são conhecidas as impedâncias de todos os elementos do sistema. Após sequência de cálculos matemáticos, obtêm-se as matrizes de impedância nodal correspondentes aos circuitos de sequência positiva, de sequência negativa e de sequência zero de um determinado sistema. A análise de curto-círcuito em seu trabalho é feita para a avaliação de aspectos técnicos no estudo do desempenho de redes de distribuição com geradores distribuídos.

O nível de curto-círcuito admissível no gerador distribuído deve ser compatível com aquele que poderá ser atingido após sua conexão com a rede. Caso contrário, devem ser estudadas e definidas as medidas a serem tomadas para adequá-lo, pois elevados níveis de curto-círcuito podem afetar os equipamentos elétricos interconectados, os circuitos alimentadores, os sistemas de aterramento, e o ajuste dos relés existentes.

Para esta situação, medidas que podem auxiliar a redução de altos níveis de curto-circuitos são: a adição de reatores; o uso de transformadores e geradores de alta impedância; limitadores estáticos; a reconfiguração do sistema de distribuição e; em última instância, a substituição de equipamentos existentes, já que implica em custo adicional à concessionária, além de provocar interrupções no for-

necimento de energia durante modificações (BRIGHENTI, 2003 e LORA; HADDAD, 2006).

É importante ponderar que cada solução possui um custo inerente, porém, os danos causados por curto-circuito podem representar alto custo para recuperação de perda de equipamentos e condições de risco à segurança de funcionários. Assim, todas as possíveis soluções devem ser devidamente avaliadas para que se resolva de forma satisfatória o problema de curto-circuito.

4.4. ESTUDO PARA PROTEÇÃO DO SISTEMA

A proteção de um sistema deve ser capaz de detectar e isolar faltas para prover a operação normalizada do sistema, deve ter condições de prevenir falhas e limitar os efeitos resultantes dessas falhas. Deve atender características como sensibilidade, confiabilidade, velocidade e seletividade. E, além disso, deve ser economicamente viável, equilibrando recursos técnicos e econômicos.

Na presença de GD, as condições de operação do sistema de proteção já existente devem sofrer alteração. Um pequeno gerador distribuído não afeta de forma significativa os níveis de falta. Porém, várias unidades de pequeno porte de GD ou poucas unidades de grande porte podem provocar alterações significantes nos níveis de curto-circuito, de modo a causar a perda da coordenação dos fusíveis, afetando assim a confiabilidade e a segurança do sistema de distribuição. Desta forma, são necessários reajustes nos sistemas de proteção, considerando as mudanças que a implantação dos geradores na distribuição pode trazer, principalmente em relação às variações no fluxo de potência (GONÇALVES, 2004; LORA; HADDAD, 2006; OCHOA-PIZZALI, 2006; SENNE; et al., 2006).

Os requisitos técnicos de proteção devem garantir a integridade dos sistemas elétricos e equipamentos tanto da concessionária, como do gerador distribuído na ocorrência de defeitos. A proteção do gerador contra falta é um procedimento comum, existem diversas técnicas conhecidas que visam proteger máquinas elétri-

cas. A detecção de falta é feita através da corrente de falta proveniente da rede de distribuição. Um problema comum, neste caso, é assegurar que haverão correntes de falta adequadas para uma rápida atuação dos dispositivos de proteção, como relés e fusíveis.

A proteção da rede de distribuição com geradores instalados já é mais complexa. A detecção de falta é proveniente da corrente de falta dos geradores, que nem sempre têm condições de fornecê-la. Pequenos geradores síncronos, no caso, necessitam de circuitos robustos e excitatrizes sofisticadas, para conseguirem fornecer correntes de falta maiores em relação à corrente de demanda máxima. E geradores de indução não podem fornecer correntes de falta para faltas trifásicas. Nessas situações, a segurança fica somente a cargo dos dispositivos de proteção da rede de distribuição, para eliminar as faltas do circuito (OCHOA- PIZ-ZALI, 2006).

Quando se conecta centrais geradoras na distribuição também se faz necessário à instalação de um sistema de proteção de seus equipamentos contra condições anormais de operação, como:

- curto-circuito;
 - superexcitação;
 - sobretensão;
 - correntes desbalanceadas;
 - frequências anormais; e
-
- stress no eixo do gerador, quando for o caso, causado pelo religamento automático dos disjuntores das concessionárias, caso o gerador ainda esteja no sistema (SENNE; et al, 2006).

A tabela a seguir aponta as proteções mínimas necessárias no ponto de conexão, de acordo com o nível de tensão das unidades, apresentadas Módulo 3 dos procedimentos de distribuição (ANEEL, 2008b).

Tabela 4.2 – Proteções mínimas em função da potência instalada

EQUIPAMENTO	POTÊNCIA INSTALADA		
	kW	10 kW a 500 kW (4)	> 500 kW (4)
Elemento de desconexão (1)	Sim	Sim	Sim
Elemento de interrupção (2)	Sim	Sim	Sim
Transformador de acoplamento	Não	Sim	Sim
Proteção de sub e sobretensão	Sim (3)	Sim (3)	Sim
Proteção de sub e sobrefreqüência	Sim (3)	Sim (3)	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

(1) Chave seccionadora visível e acessível que a acessada usa para garantir a desconexão da central geradora durante manutenção em seu sistema.

(2) Elemento de desconexão e interrupção automático acionado por comando e/ou proteção.

(3) Não é necessário relé de proteção específico, mas um sistema eletro-eletrônico que detecte tais anomalias e que produza uma saída capaz de operar na lógica de atuação do elemento de desconexão.

(4) Nas conexões acima de 300 kW, se o lado da acessada do transformador de acoplamento não for aterrado, deve-se usar uma proteção de sub e de sobretensão nos secundários de um conjunto de transformador de potência em delta aberto.

FONTE: ANEEL, 2008b.

Na seção 3.3 deste mesmo módulo do PRODIST, são mostradas outras condições sobre o sistema de proteção e controle para a conexão de centrais geradoras na distribuição (ANEEL, 2008b).

Geradores atuando na distribuição podem alterar o funcionamento de dispositivos de proteção como disjuntores e religadores do sistema, cortando de forma acentuada seu alcance. Assim, pode haver o risco de faltas com alta resistência não serem detectadas, e se tornarem faltas maiores (SENNE; et al., 2006).

Outros impactos podem ser causados pela operação ilhada. Esta, conhecida também como ilhamento, ocorre quando uma ou mais unidades de GD na rede de distribuição permanece em operação, alimentando uma determinada região, quando há interrupção do funcionamento da rede por algum motivo. Por um lado, esse fenômeno é útil para se manter o suprimento de cargas prioritárias e ajudar a aumentar os índices de confiabilidade da rede. Por outro lado, se o sistema em questão não for desconectado do restante da rede, pode-se por em risco a segurança de técnicos que trabalham nas redes de energia elétrica ou até a segurança pública (GOMES; et al., 1999; GONÇALVES, 2004; RODRIGUES; BORGES; FALCÃO, 2007; e SILVA, 2002).

Desta forma, para se operar de forma ilhada é preciso que haja comum acordo entre a central geradora e a concessionária de distribuição, e se for o caso com o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). A decisão pela operação ilhada deve ser precedida de estudos que avaliem a qualidade da energia na rede associada. Sendo permitido o ilhamento, as normas de segurança devem conter instruções específicas para esta situação e as condições de operação devem ser estabelecidas em um Acordo Operativo. Devem ser observados também os procedimentos estabelecidos no Módulo 4 do PRODIST (ANEEL, 2008b).

Caso a operação ilhada não seja permitida, deve ser utilizado um sistema automático de abertura do disjuntor de paralelismo para desligar a GD em momentos de falta de fornecimento da rede, sendo necessários também dispositivos que detectem ilhamentos não propositais.

A presença de geradores distribuídos em operação ilhada exige atenção diferenciada em caso de religamento da rede. Na atuação de equipamentos de proteção, o fornecimento da eletricidade deve ser reestabelecido rapidamente para atender aos índices de qualidade de fornecimento de energia. O método normalmente adotado nessas condições é o religamento automático. Tal procedimento deve ser identificado quando há geradores no modo ilhado, pois existem sérios riscos de se efetuar o fechamento sem sincronização entre os geradores com carga ilhada e a fonte da concessionária.

Outra preocupação com o ilhamento é que não existe garantia de que os níveis de tensão e frequência de operação sejam mantidos de forma adequada, prejudicando equipamentos dos consumidores de responsabilidade da concessionária. A dificuldade de apontar a responsabilidade por falhas no sistema é outro ponto de atenção, principalmente para as concessionárias (OCHOA-PIZZALI, 2006; RIBEIRO; FERREIRA; MEDEIROS, 2005; e SENNE; et al., 2006).

TRABALHOS RELACIONADOS À PROTEÇÃO DO SISTEMA “Conexão de geradores com o sistema elétrico de distribuição” (SENNE; et al.,2006)

Nesse trabalho, são abordadas soluções adotadas pela Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL) na conexão de geradores em paralelo ao sistema de distribuição, referente a aspectos de proteção, de qualidade de fornecimento, de operação e utilização de religadores em redes para sistemas de Geração Distribuída. São solicitadas adaptações adequadas nas subestações do gerador e na concessionária, vinculadas ao religamento e à proteção, visando continuidade do fornecimento e segurança do sistema. São discutidas as condições gerais ao paralelismo que buscam garantir proteção, sincronismos e qualidade da energia e do sistema, como níveis de tensão e de corrente de curto circuito; e os requisitos técnicos específicos ao paralelismo como, por exemplo, o tipo de dispositivo a ser usado, o local onde deve ser instalado e a forma como se deve operar. São mostradas também adaptações necessárias na subestação de distribuição e na subestação de subtransmissão, com o intuito de complementar a proteção do gerador distribuído.

“Avaliação da confiabilidade de sistemas de distribuição e subtransmissão considerando geração distribuída” (ANDRADE, 2007).

Neste trabalho, os parâmetros usados para a avaliação da confiabilidade, termo que se refere à disponibilidade do fornecimento de energia, são relacionados à incerteza da disponibilidade das fontes renováveis de energia; à variação cronológica da carga; à existência de dispositivos de manobra e proteção instalados na rede; a políticas operativas vinculadas à GD, como a possibilidade de operação ilhada e a proteção contra falhas na rede. Assim, o trabalho apresenta uma metodologia para avaliação de forma integrada da confiabilidade dos sistemas de distribuição e subtransmissão, com a presença de GD, que considera a exploração de diferentes modelos para representar a intermitência de fontes renováveis de energia, e Simulação Estocástica Cronológica.

“Metodologias para análise do risco de ocorrência de ilhamentos não intencionais de geradores síncronos distribuídos” (CORRÊA, 2008).

Muitos dos métodos de proteção desenvolvidos para detectar ilhamentos que estão disponíveis apresentam limitações técnicas e tem tendência a falhas em determinadas situações. Desta forma, é importante conhecer a probabilidade e o risco de ocorrerem falhas da proteção na detecção de ilhamentos na rede de eletricidade com GD. Outro aspecto importante é saber se o sistema de proteção utilizado está adequado. Neste contexto, este trabalho apresenta uma série de metodologias desenvolvidas para analisar o risco da ocorrência de ilhamentos não intencionais devido à falha do sistema de proteção especificamente para geradores síncronos. O ilhamento é denominado não intencional quando este não é programado e também não é percebido pelo sistema de detecção de ilhamento. As metodologias apresentadas no trabalho fazem uso de curvas de carga do sistema de distribuição, nos patamares de geração de potência ativa e reativa e no cálculo de um índice numérico que indica o risco de falha da proteção anti-ilhamento. Este índice de risco é calculado por métodos diretos sem a necessidade de executar numerosas simulações de transitórios eletromagnéticos. Através da aplicação das metodologias desenvolvidas, os principais fatores que afetam o desempenho do sistema de proteção anti-ilhamento podem ser prontamente determinados.

“Metodologias para ajuste e avaliação do desempenho de relés de proteção anti- ilhamento de geradores síncronos distribuídos” (VIEIRA JÚNIOR, 2006).

Uma das principais funções dos sistemas de proteção de geradores distribuídos conectados à rede de energia elétrica é desconectá-los quando um ilhamento for detectado. Considerando que a situação de ilhamento deve ser evitada devido ao risco que proporciona à segurança de pessoas e equipamentos, e à deterioração da qualidade da energia fornecida aos consumidores, propõem-se novas metodologias que avaliem de forma sistemática e ajustem alguns dos principais relés de proteção anti-ilhamento de geradores síncronos. As técnicas analisadas

abrangem relés de deslocamento de fase, relés de taxa de variação de frequência, relés de sub/sobre frequência convencional e relés de sub/sobre tensão convencionais. As metodologias aplicadas mostram-se eficientes para avaliar e determinar o desempenho desses relés quanto à detecção de ilhamentos, auxiliando na seleção dos esquemas de proteção e ajustes mais adequados.

“Análise comparativa sobre a eficácia de relés baseados em medidas de freqüência para detecção de ilhamento de geradores distribuídos” (VIEIRA JÚNIOR; FREITAS; FRANÇA, 2005).

O projeto e a avaliação de sistemas de proteção anti-ilhamento exigem um estudo detalhado envolvendo numerosas simulações dinâmicas para se tornarem confiáveis. Com o intuito de reduzir a quantidades destas simulações, que demandam muito tempo para o estudo, este trabalho propõe um conjunto de fórmulas capazes de determinar diretamente o comportamento dinâmico dos relés baseados em medidas de frequência, dispositivos contra ilhamento mais empregados em geradores síncronos distribuídos. A formulação é obtida a partir da solução analítica da equação de oscilação da máquina síncrona, junto com a solução das equações dos relés. E a exatidão das fórmulas é avaliada através de curvas de desempenho, que são curvas que relacionam o tempo de detecção com o desbalanço de potência ativa. Os dispositivos de proteção analisados no trabalho são: o relé de sub e sobre frequência, relé de taxa de variação de frequência, e relé de deslocamento de fase. Como resultado, verificou-se que os comportamentos dos relés de frequência e de deslocamento de fase são bastante parecidos; que os relés de sub/sobre frequência temporizados são ineficazes para uso em sistemas de detecção de ilhamento caso o tempo exigido para detecção seja baixo (em torno de 200 ms); e que o relé de taxa de variação de frequência é o mais eficaz, pois necessita um menor valor de desbalanço de potência ativa para detectar uma condição de ilhamento de forma apropriada. No entanto, dentre os relés analisados, nenhum demonstrou ser completamente confiável se o desbalanço da potência ativa for menor que 10%, no caso em que o tempo para a detecção é 200 ms.

“Sistema inteligente para ajuste dos dispositivos de proteção em sistemas de distribuição com geração distribuída” (CAMPITELLI; et al., 2007).

Tendo em vista a atual tendência de utilização de Geração Distribuída e considerando que esta altera a topologia do sistema de distribuição e interfere de forma direta na coordenação de seus dispositivos de proteção, o trabalho propõe um algoritmo computacional para realizar projetos de alocação do modo integrado e otimizado de geradores e de dispositivos de proteção em linhas aéreas de distribuição. Para implementação do algoritmo são considerados aspectos técnicos e econômicos relacionados à alocação, realocação, especificação e coordenação da proteção. Para validar o projeto, testes foram efetuados em um sistema real de distribuição, com 134 barras. A ferramenta utilizada se mostrou com um bom nível de interatividade com o usuário, apresentando resultados que se mostraram confiáveis.

Em Campitelli (2007): “Análises e estudos para alocação e ajustes de dispositivos de proteção em redes de média tensão de energia elétrica com Geração Distribuída”, este estudo é testado também para um alimentador real de distribuição de 660 barras.

“Influência da alocação ótima de dispositivos de proteção e de geração distribuída na confiabilidade do sistema” (BORGES; MACHADO JUNIOR; FALCÃO, 2003).

Com o intuito de avaliar o efeito da alocação de dispositivos de proteção e manobra na confiabilidade do sistema, uma metodologia baseada em algoritmos genéticos foi desenvolvida para realizar a alocação ótima desses dispositivos na rede de distribuição primária, para melhorar os índices de confiabilidade, a custos mínimos e com unidades de GD instaladas ao longo da rede. O efeito da presença de GD é avaliado a partir de técnicas analíticas de cálculo de índices de confiabilidade em sistemas de distribuição radial, modificado para tratar a representação de múltiplos geradores. Os resultados para os testes com um sistema exemplo e um sistema real se apresentaram com melhoria na confiabilidade.

4.5. ESTUDO DO FLUXO DE POTÊNCIA

A Geração Distribuída causa alteração tanto no fluxo de potência, como nas perdas do sistema. Essas alterações podem ser benéficas ou não, dependendo de algumas variáveis, como: a localização da unidade de geração, a relação entre a quantidade de potência gerada e a quantidade de potência requerida pela carga nesse ponto, e a topologia da rede. Sendo que a avaliação desses fatores deve ser feita durante o período de projeto de instalação da GD (GALLARDO, 2005; LORA; HADDAD, 2006; e OCHOA-PIZZALI, 2006).

Há três situações referentes ao fluxo de potência que podem ocorrer com presença da GD no sistema:

Geração menor do que a demanda: nesta circunstância, não há exportação da energia elétrica produzida pelo gerador distribuído, há apenas redução da demanda proveniente da concessionária, o que implica em menor nível de carregamento da rede. Assim, seus equipamentos devem trabalhar bem nesta condição.

Geração maior do que a demanda, porém menor do que duas vezes o seu valor: neste caso, se a geração for igual à demanda não há fluxo de potência entre concessionária e consumidor, assim os equipamentos de interconexão trabalharão praticamente a vazio. Já se a geração for maior do que a demanda, o fluxo de potência será invertido em relação ao convencional, fluirá no sentido da concessionária. Mesmo assim, os equipamentos pré-existentes, sob o ponto de vista de carregamento, são considerados adequados, pois o valor máximo é igual ao da demanda.

Geração maior do que duas vezes o valor da demanda: nesta situação, existe a necessidade de se verificar se os equipamentos já instalados são adequados, pois o fluxo de potência é invertido e o valor numérico da potência pode ser maior do que a capacidade do sistema (LORA; HADDAD, 2006 e PI-NHEIRO et al., 2005).

Além de buscar adequar os equipamentos da rede para a implantação da GD, o estudo do fluxo de potência tem como intenção aliviar áreas com problema de capacidade de linha ou de regulação de tensão. Para isso, faz-se uso de ferramentas computacionais capazes de verificar se os níveis de tensão são mantidos em todos os pontos e se não há circuito operando em sobrecarga, em todas as possíveis configurações do sistema. Deve ser realizada uma análise comparativa com e sem a presença do gerador distribuído que se pretende instalar. Assim, a GD pode beneficiar o perfil de tensão ao longo dos alimentadores, aliviando o nível de carregamento, reduzindo o nível de perdas do sistema e regulando a tensão (LORA; HADDAD, 2006; e OCHOA-PIZZALI, 2006).

O estudo de perdas elétricas do sistema está vinculado à gestão da energia e combate do seu desperdício, e consequentemente a questões econômicas. De acordo com Guedes (2006), o sistema de distribuição, considerando rede secundária, transformadores de distribuição e alimentadores primários, é responsável por 53% das perdas no sistema elétrico de potência.

Existem diversas formas de se reduzir essas perdas, dentre elas estão o redimensionamento das linhas, redimensionamento e alocação de transformadores, controle do fluxo de reativos, aumento da qualidade do sistema de iluminação pública e incentiva ao uso racional de energia. A Geração Distribuída, se devidamente dimensionada e localizada no sistema, pode também ser uma solução para o problema de perdas de potência, e oferecer menores custos quando comparada com o redimensionamento de equipamentos (GUEDES, 2006).

No entanto, são necessários estudos para que realmente a aplicação da GD seja favorável ao sistema e economicamente viável. Dentre eles, podem ser citados: a reconfiguração da rede; a alocação e dimensionamento ótimos das unidades GD; e a alocação de perdas.

4.5.1. Reconfiguração

Estudos de reconfiguração visam identificar, através de simulações computacionais, a topologia mais adequada para o sistema de distribuição para melhorar a qualidade da energia entregue ao consumidor final. A mudança da topologia do sistema é realizada através das operações de fechamento e abertura de chaves seccionadoras.

De acordo com Oliveira, Ochoa e Padilha-Feltrin (2004) e Souza et al. (2006), a reconfiguração pode trazer benefícios, como:

- Balanceamento de cargas;
- Redução de perdas reais de potência nos alimentadores;
- Melhora do perfil de tensão da energia;
- Aumento no nível de confiabilidade do sistema; e
- Eliminação ou isolamento de faltas.

4.5.2. Dimensionamento e alocação da GD

As perdas da rede serão reduzidas se um gerador de pequeno porte for posicionado perto de uma grande carga, pois a energia pode ser fornecida para a

carga a partir do gerador mais próximo. Porém, as perdas do sistema podem aumentar se um gerador distribuído de grande porte for alocado longe das cargas da rede. Desta forma, observa-se a importância de se avaliar os efeitos da capacidade de geração e da localização dos geradores distribuídos sobre as perdas elétricas da rede, na operação e no planejamento dos sistemas de distribuição. Neste contexto, muitos estudos buscam desenvolver técnicas apropriadas para a alocação e dimensionamento ótimos para a GD (OCHOA-PIZZALI, 2006).

4.5.3. Alocação de perdas

Os métodos de alocação de perdas em rede de distribuição têm como objetivo atribuir a responsabilidade aos geradores distribuídos e aos consumidores, pelas perdas elétricas do sistema. Este tema é abordado de forma mais ampla para os sistemas de transmissão, mas já existem algumas metodologias direcionadas à rede de distribuição (DENIS, 2003).

TRABALHOS RELACIONADOS A FLUXO DE POTÊNCIA E PERDAS NO SISTEMA

“Fluxo de potência ótimo em redes de distribuição de energia com a presença de geração distribuída: um novo algoritmo para auxiliar a análise do perfil de tensão” (PAIVA, 2006).

Neste trabalho é desenvolvida uma ferramenta de otimização do fluxo de potência para avaliar o impacto de geradores distribuídos no perfil de tensão da rede elétrica. Para isso, foi elaborado um algoritmo através do método dos pontos interiores baseado no método das somas das potências. Este algoritmo de Fluxo de Potência Ótimo maximiza a geração de potência ativa das fontes de GD, considerando os limites máximos de tensão das redes de distribuição estabelecidos por normas da ANEEL; e o limite máximo de potência ativa dos geradores distribuídos presentes em um alimentador da rede. Ao final, são analisados os impactos desta maximização no perfil de tensão do sistema. A viabilidade desta

ferramenta foi testada em três sistemas de distribuição, dois sistemas exemplos e um sistema real das Centrais Elétricas de Santa Catarina (CELESC). Os resultados obtidos se mostraram satisfatórios quando comparados ao desempenho das redes sem a presença de GD, havendo melhora no perfil de tensão e alívio no carregamento. Desta maneira, a ferramenta desenvolvida pode ser útil no planejamento de inserção da GD, na operação da rede, e até na expansão do sistema, por demonstrar que a GD pode postergar investimentos de reforço de alimentadores.

“Fluxo de carga em sistemas de distribuição radiais com geração distribuída: método da soma de potência modificado” (SOUZA; et al, 2006).

Este trabalho apresenta um método de fluxo de carga, adaptado do método de soma de potência para aplicação em sistemas de distribuição com Geração Distribuída. Utilizou-se um problema de minimizar uma função erro de característica quadrática para formular o problema de manter as tensões especificadas nas barras de geração, fazendo uso do método de Newton- Raphson. O algoritmo proposto inclui restrições de injeção de reativos e de limites de tensão de operação dos geradores. E a convergência em condições de extremo carregamento, foi mantida e, embora matrizes e derivadas numéricas sejam utilizadas, não houve grande impacto na complexidade do algoritmo. O método foi avaliado na solução do fluxo de carga de um sistema de 36 barras. Seus resultados foram comparados com os resultados do método Newton-Raphson, o que confirmou a exatidão da ferramenta proposta e também sua maior eficiência computacional. Uma deficiência observada é a necessidade de aproximar numericamente várias derivadas.

“Avaliação técnico-econômica da viabilidade de projetos de geração distribuída” (KAGAN; et al., 2003).

O referido trabalho apresenta uma metodologia e uma ferramenta computacional para realizar estudos de fluxo de potência e de curto circuito que podem servir como base para a avaliação dos impactos que a GD pode causar ao carregamento dos equipamentos, ao perfil de tensão e ao sistema de proteção da rede de distribuição. Para o estudo de fluxo de potência utilizou-se duas formulações para a Geração Distribuída. Em uma, a GD é representada como carga negativa; e na outra, a GD é representada como barras de geração, ou seja, por um método convencional: Newton-Raphson. Para o estudo de curto-circuito, impedâncias equivalentes são utilizadas para representar os pontos de suprimento e as unidades de GD são representadas por suas correspondentes impedâncias, em que se consideram os transformadores de conexão. Já o algoritmo de cálculo é baseado na avaliação de impedâncias sequenciais equivalentes para as barras onde as correntes de defeito são determinadas. Como resultado, a metodologia desenvolvida permitiu a inclusão de unidades de GD no sistema de distribuição, de forma simples. Na análise de fluxo de potência, o sistema de distribuição de média tensão pôde ser analisado em detalhe pelo método de fluxo de potência trifásico, executado de forma eficiente em redes radiais. A análise de curto circuito permitiu a simulação de diferentes tipos de defeitos em qualquer barra selecionada, nas redes de alta e média tensão. A ferramenta computacional se apresentou amigável ao usuário, facilitando a análise dos níveis de tensão nas barras e das correntes nos trechos e componentes da rede.

“Localização e dimensionamento de unidades de geração distribuída em redes de distribuição radiais” (GUEDES, 2006).

Desenvolveu-se neste trabalho um algoritmo de localização e dimensionamento de GD em alimentadores de média tensão e um algoritmo de alocação de banco de capacitores, ambos com a intenção de reduzir as perdas de potência e consequentemente adiar a expansão do sistema. Entre outros métodos, utilizaram-se os métodos da aproximação quadrática e da coordenação de minimização cí-

clica. Para avaliação do método foram testados quatro alimentadores radiais, sendo três deles reais e o outro extraído da literatura. Dos resultados obtidos, observou-se redução acentuada nas perdas de potência ativa e substancial melhora no perfil da tensão para localização e dimensionamento ótimo da GD. A alocação de bancos de capacitores também reduziu as perdas e melhoraram o perfil da tensão, todavia, esses resultados foram inferiores se comparados a alocação da GD. Os resultados da alocação de GD juntamente com a alocação do banco de capacitores foram ainda melhores, porém, com pequena diferença em relação à instalação somente de GD.

“Análise do impacto da localização e dimensão da geração distribuída na confiabilidade, perdas elétricas e perfil de tensão de redes de distribuição” (BOR-GES; et al., 2003).

O trabalho apresentou o desenvolvimento de uma metodologia para localização e dimensionamento ótimos de Geração Distribuída em redes de distribuição em que foram considerados o custo da instalação da GD e a melhoria de índices de confiabilidade da rede, referentes ao perfil de tensão e a perdas elétricas. O método elaborado utilizou algoritmos genéticos combinados com um módulo de avaliação do impacto da GD na rede. Uma ferramenta computacional foi elaborada em linguagem de programação C++, com a Modelagem Orientada a Objetos. Esta possui uma interface gráfica com entrada de dados e visualização de resultados, amigável ao usuário, que permite estudos de planejamento e operação da rede de distribuição. Este trabalho faz parte do Programa de P&D do Setor Elétrico Brasileiro, coordenado pela ANEEL, e executado pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro para a Companhia de Eletricidade do Rio de Janeiro (CERJ).

“A multi-objective formulation for the optimal sizing and siting of embedded generation in distribution networks” (CELLI; et al, 2003).

O planejamento ótimo de sistema de potência é atingido quando vários objetivos são simultaneamente alcançados. Em muitos casos, esses objetivos contradizem-se e não podem ser tratados através de técnicas de otimização simples e convencionais. O propósito deste trabalho é analisar problemas de dimensionamento e alocação na presença de Geração Distribuída em redes de distribuição, a fim de alcançar o melhor ajuste entre custo de melhoramento da rede, custo de perda de potência, custo da energia não suprida, custo da qualidade da energia não atendida (danos devido à distorção harmônica, por exemplo), e custo da energia necessária aos consumidores. Uma técnica multi-objetiva é usada para minimizar mais que um objetivo simultaneamente, fazendo uso de algoritmo genético aplicado à técnica “ ε -constrained”. Exemplos numéricos são apresentados para demonstrar a qualidade do algoritmo proposto.

“Network reconfiguration and loss allocation for distribution systems with distributed generation” (OLIVEIRA; OCHOA; PADILHA-FELTRIN, 2004).

A instalação de unidades de Geração Distribuída no sistema de distribuição requer novo método de análise, visto que as redes deixam de ser passivas e a GD pode causar alguns impactos dependendo da sua localização, como: contribuir com corrente de falha, causar oscilação de tensão e aumentar ou reduzir perdas. Neste contexto, o trabalho apresenta ferramentas de simulação para resolver problemas de reconfiguração e alocação de perdas em sistemas de distribuição na presença de Geração Distribuída. A ferramenta apresentada trata- se de um simulador gráfico de sistemas de distribuição, baseada em Visual Basic, de fácil entrada de dados e rápida resposta, que possibilita visualizações para melhor análise de soluções e treinamento de operadores de sistema. O simulador faz uso de um algoritmo de fluxo de potência rápido, robusto e eficiente na presença de GD, baseado em técnica de soma de corrente *backward-forward*. O problema de reconfiguração da rede é resolvido por metodologia heurística, que usa o critério de máxima tensão permitida nos alimentadores. A alocação de perdas, basea-

da no método ZBus, é apresentada no simulador como um resultado anexo para cada configuração obtida. O método atribui ao consumidor ou gerador o verdadeiro custo imposto por ele ao sistema, através da distribuição das perdas entre as barras do sistema. Apresenta-se, assim, incentivo ou penalidade para as barras em função da localização e magnitude da potência, utilizando o conceito de perdas negativas em certos casos de injeção de potência no sistema. Ao final, o trabalho elabora um teste de análise da ferramenta considerando um sistema de distribuição com 3 alimentadores e 16 barras. Devido à concentração de carga na vizinhança da barra 9, é aplicada a ela uma unidade de GD que corresponde a 25% de penetração ao sistema. Os resultados da simulação mostram que as perdas são cerca de 45% menores na presença da GD. Sendo a alocação de perdas reduzida nas barras próximas à GD e, como impacto a injeção de potência, a alocação de perdas na barra 9 é negativa. Conclui-se, assim, que a presença de GD na barra 9 altera positivamente o perfil da tensão, melhorando os índices de qualidade do suprimento da carga.

“Alocação de perdas em redes de distribuição de energia elétrica com livre acesso de terceiros” (OLIVEIRA; et al., 2004).

Os problemas de reconfiguração de rede e alocação de perdas são abordados neste trabalho, com o objetivo de obter melhores topologias para o sistema. Para a alocação de perdas são comparadas três metodologias: método da matriz Zbus, fator de perdas diretas, e o método da substituição. Estes métodos são implementados após a aplicação da reconfiguração, que visa identificar as topologias com menores perdas. As melhores configurações podem ser visualizadas, de forma efetiva e rápida, através de um simulador de redes de distribuição proposto, que possui uma interface gráfica, baseada na linguagem Visual Basic. O método Zbus mostrou ser o mais eficiente.

“Métodos de alocação de perdas em sistemas de distribuição com geradores distribuídos” (DENIS, 2003).

O trabalho mostra uma abordagem nova para a alocação de perdas em sistemas de distribuição, chamado Zbus. Este método já foi proposto anteriormente com aplicação somente para a transmissão, e é baseado em teoria de circuitos elétricos. A avaliação de desempenho da metodologia é feita através de quatro comparações: uma baseada no método da substituição; a outra baseada no princípio da divisão proporcional; e outras duas baseadas em fatores de perdas. As comparações utilizaram três diferentes sistemas de distribuição como teste e o método Zbus apresentou superioridade em desempenho na alocação de perdas, além de não utilizar aproximações e possuir fácil implementação.

4.6. IMPACTOS NA QUALIDADE DA ENERGIA

Os convencionais sistemas de distribuição foram planejados para um único sentido de fluxo de potência, ou seja, a potência ativa flui dos altos níveis de tensão (da subestação) para os baixos níveis (para os consumidores finais). Porém, como apresentado na seção 4.5, pode ocorrer inversão do fluxo de carga dependendo da capacidade das unidades de Geração Distribuída, e assim, as redes de distribuição deixam de ser passivas, tornando-se circuitos ativos com tensões e fluxos de potência determinados pelas cargas e pelos geradores conectados a ela (GALLARDO, 2005; OCHOA-PIZZALI, 2006).

Decorrentes desta mudança, alguns impactos técnicos são detectados e podem se tornar evidentes quando o nível de penetração da GD ao sistema aumenta, ou seja, quando a energia produzida por estes geradores for aumentando em relação à energia total que abastece uma dada área; e em projetos muito grandes conectados a redes muito fracas. Muitos dos impactos apresentados na bibliografia têm referência a fatores ligados à qualidade da energia. Estes são descritos adiante.

4.6.1. Variação de tensão em regime permanente

Nos pontos de entrega de energia ou de conexão, a tensão elétrica deve estar em conformidade com níveis de tensão estabelecidos pela ANEEL, apresentados detalhadamente na Resolução Normativa 505, de 26 de novembro de 2001. Assim, as concessionárias têm obrigação de fornecer aos seus consumidores energia com tensão dentro dos limites especificados e contratados (ANEEL, 2001, 2008b; OCHOA-PIZZALI, 2006).

A presença de unidades de GD no sistema pode ser benéfica ou não à manutenção do valor da tensão dentro dos limites admissíveis, dependendo da forma como é aplicada. Se bem avaliada e planejada, a inserção da GD pode ser usada para melhorar a regulação de tensão como um suporte de tensão. Pode ser operada ou configurada para controlar a tensão terminal, de modo a manter a tensão num valor constante, ou então, configurada para controlar o fator de potência, fornecendo potência ativa à rede, a um fator de potência constante, e variando a tensão no alimentador de acordo com o efeito da inserção de potência (RIBEIRO; FERREIRA; MEDEIROS, 2005; VIEIRA JÚNIOR, 2009).

Em contrapartida, se não forem feitos estudos adequados em que se considera de forma detalhada a atuação da GD, a tensão em regime permanente pode ser impactada e sofrer degradação. A conexão de um gerador, normalmente, leva ao aumento do perfil de tensão do sistema, que é mais intenso com o aumento da penetração da GD. Esta situação pode provocar a violação do limite superior de tensão na rede, principalmente quando o sistema se encontra operando em carga mínima (GALLARDO, 2005; OCHOA-PIZZALI, 2006; e VIEIRA JÚNIOR, 2009).

A regulação de tensão pode sofrer efeitos negativos se a GD for localizada imediatamente após uma compensação de perdas na linha, comumente usada para controlar a tensão de um alimentador. Nesta situação, a corrente observada pelo equipamento é reduzida em função da geração da GD, e isto conduz a falhas no controle da regulação da tensão na barra de carga, levando à subtensão.

Outra preocupação é que se a potência ativa produzida pela GD não for constante, os reguladores de tensão ou os bancos de capacitores instalados na rede entrarão constantemente em operação, reduzindo a vida útil desses equipamentos, ou mesmo, comprometendo a qualidade da tensão do sistema (RIBEIRO; FERREIRA; MEDEIROS, 2005).

4.6.2. Variação de tensão de curta duração-VTCD

A variação de tensão de curta duração é caracterizada pelo desvio significativo do valor eficaz da tensão acima ou abaixo dos limites aceitáveis por um pequeno intervalo de tempo, inferior a 3 segundos, de acordo com a ANEEL (2001). Quando o valor eficaz da tensão do sistema se reduz para valores abaixo de 90% da tensão nominal de operação momentaneamente, a variação de curta duração é chamada de Afundamento Momentâneo de Tensão. E quando o valor eficaz da tensão do sistema se eleva para valores acima de 110% da tensão de forma momentânea, a variação é chamada de Elevação Momentânea de Tensão (ANEEL, 2001; RIBEIRO; FERREIRA; MEDEIROS, 2005).

A variação de curta duração, diferentemente da variação de regime permanente, não é influenciada ou originada de forma determinante pela Geração Distribuída. Esse tipo de variação tem origem normalmente nas redes de transmissão e de distribuição, e como consequência pode afetar as cargas e geradores conectados a elas.

Em caso de afundamentos bruscos de tensão, máquinas síncronas tendem a diminuir sua rotação e param, e geradores síncronos e assíncronos tendem a acelerar podendo atingir instabilidade. Nestas situações, além do comprometimento da qualidade da energia, pode haver abertura dos disjuntores, prejudicando a qualidade de fornecimento da energia e má operação dos circuitos de controle. As elevações de tensão são causadas normalmente por faltas na rede ou

por operações de chaveamento. No entanto, são menos comuns em relação aos afundamentos (RIBEIRO; FERREIRA; MEDEIROS, 2005).

4.6.3. Distorções da forma de onda

Distorções da forma de onda, também conhecidas como distorções harmônicas, são fenômenos que estão associados a deformações nas formas de onda de tensões e correntes em relação à onda senoidal pura da frequência fundamental. Algumas tecnologias de GD possuem elementos eletrônicos, como conversores, que podem introduzir harmônicos à rede. Dentre essas tecnologias, podem ser citadas as células a combustível, sistemas fotovoltaicos e alguns tipos de geradores eólicos.

Porém existem trabalhos que buscam sanar esta dificuldade. Novos dispositivos, técnicas de chaveamento e topologias para as pontes conversoras estão sendo desenvolvidos por pesquisadores para que a forma de onda das correntes injetadas na rede por estas tecnologias esteja o mais próximo possível de senóides perfeitas. Um exemplo são tecnologias de conversão eletrônica baseadas em chaveamentos a altas frequências que podem reduzir de forma substancial os valores de harmônicos de frequências mais baixas, no entanto, o impacto de componentes de altas frequências no sistema precisa ser examinado com detalhes (RIBEIRO; FERREIRA; MEDEIROS, 2005).

Os valores das distorções harmônicas que devem ser obedecidos para as redes de distribuição brasileiras são estabelecidos no PRODIST, apresentados no Módulo 8 (ANEEL, 2008b).

4.6.4. Variação de frequência

Variações na frequência da rede provêm de desequilíbrio entre a demanda e o suprimento de energia. Um elevado grau de penetração da GD pode exigir um grande esforço por parte do operador da rede para manter as variações de frequência dentro dos limites permitidos, caso não haja uma preocupação no funcionamento adequado das unidades de geração. Cabe observar que o bom desempenho de processos industriais e de outras cargas depende de valores corretos de frequência (RIBEIRO; FERREIRA; MEDEIROS, 2005).

4.6.5. Flutuação de tensão-Flicker

A flutuação de tensão, também conhecida como *flicker*, é uma variação dinâmica do valor eficaz da tensão da rede, podendo ser aleatória, repetitiva ou esporádica. O termo *flicker*, ou cintilação luminosa, tem origem da impressão visual causada por variações do fluxo luminoso das lâmpadas incandescentes resultantes de flutuações da tensão de atendimento da carga, com consequente reclamação dos consumidores.

O *flicker*, tradicionalmente, pode ser causado pela conexão de grandes cargas flutuantes como, por exemplo, fornos a arco. Contudo, a GD pode também ocasionar flutuação de tensão quando ocorrem frequentes paradas e inícios de geração, ou mesmo, em contínuas variações da potência produzida, devido à intermitênci a da fonte primária. Assim, alguns tipos de GD, como geradores de indução, turbinas eólicas, e geradores fotovoltaicos, requerem avaliações precisas de sua operação para que seja reduzido o potencial de geração de *flicker* dessas tecnologias.

A flutuação de tensão deve atender a padrões determinantes da qualidade da energia, para não provocar incômodo ao usuário pelo efeito da cintilação lumi-

nosa. Os vários padrões internacionais para *flicker* são baseados em curvas da sensibilidade humana às variações da intensidade da luz, sendo o olho humano mais sensível a variações de tensão em torno de 10 Hz. Os limites de flutuação de tensão determinados no Brasil são estabelecidos no Módulo 8 dos procedimentos de distribuição (ANEEL, 2008b; e RIBEIRO; FERREIRA; MEDEIROS, 2005).

4.6.6. Desequilíbrio de tensão

O desequilíbrio de tensão é o fenômeno associado a alterações do equilíbrio de tensão entre fases da rede relacionadas aos padrões trifásicos do sistema de distribuição. Este fenômeno pode ser significativo com a implantação de unidades com geração que não sejam trifásicas, como é o caso de sistemas fotovoltaicos domésticos. Quando esse tipo de GD se tornar comum, haverá a necessidade das empresas de distribuição solucionarem o problema de balanceamento entre as fases, principalmente por causa do carregamento das linhas.

Outros elementos podem também causar preocupações quanto ao desequilíbrio de tensão. Máquinas trifásicas, principalmente máquinas de indução, se expostas a tensões terminais desbalanceadas, pode consumir altos valores de correntes, o que levará a um sobreaquecimento da máquina.

Outro exemplo são os conversores de potência que também respondem de forma negativa ao desbalanço da tensão. Nestas condições, harmônicos não-característicos podem ser gerados, implicando em desconexões indesejáveis. Desse modo, o desequilíbrio de tensões deve ser acompanhado juntamente com os outros parâmetros de qualidade da energia, na instalação de GD (ANEEL, 2008b; e RIBEIRO; FERREIRA; MEDEIROS, 2005).

4.6.7. Impactos na Estabilidade

Estabilidade de tensão pode ser definida como a capacidade de manter o nível de tensão nas barras do sistema dentro dos limites de tolerância estabelecidos, seja em condições normais de operação ou em situações subsequentes à faltas. Os fenômenos de estabilidade estão ligados diretamente ao fluxo de potência reativa na rede; ao comportamento das cargas diante de variações da tensão; à atuação de dispositivos automáticos de controle de tensão; e à limitação de sobre-excitação de geradores.

Se após uma perturbação do sistema, as tensões não retornarem à faixa aceitável, sofrendo um declínio progressivo que perdure por períodos de um minuto ou mais, ocorre à perda de estabilidade. Este fenômeno é denominado instabilidade de tensão.

A instalação de unidades de GD não é tida, normalmente, como um problema significante para a estabilidade da tensão, dependendo, no entanto, de fatores como o tipo de gerador usado, sua localização, a interface com a rede e o nível de penetração da GD.

Há um comportamento linear na relação entre a sensibilidade do sistema e o grau de penetração da GD, o que pode levar a uma proporcionalidade entre o percentual de penetração e seus efeitos na estabilidade. Assim, se uma determinada unidade de GD tende a colaborar com a estabilidade do sistema, o aumento da penetração de GD, com unidades semelhantes a esta, também vai tender a melhorar a estabilidade. Porém, o inverso é verdadeiro.

Em Gonçalves (2004) são mostrados estudos da influência de alguns tipos de geradores e de interfaces de conexão na estabilidade da tensão. De maneira geral, a presença de geradores na distribuição, próximos às cargas, pode prover um aumento da margem de estabilidade às redes. Porém, é importante determinar o quanto a instalação de GD pode contribuir para esta margem que está vinculada com a troca de potência reativa que ocorre entre o gerador e o sistema,

para assim determinar o impacto que a GD tem sobre a estabilidade de tensão (GALLARDO, 2005; GONÇALVES, 2004; e OCHOA-PIZZALI, 2006).

TRABALHOS RELACIONADOS À QUALIDADE DE ENERGIA

“Análise comparativa entre geradores síncronos e geradores de indução com rotor tipo gaiola de esquilo para aplicação em geração distribuída” (FREITAS; et al., 2005a).

Neste trabalho, é apresentada uma comparação detalhada entre máquinas síncronas e assíncronas, onde foram analisados os impactos que podem provocar quando conectados ao sistema de distribuição. Para a comparação, foram usadas diferentes ferramentas e modelos de simulação computacional, e parâmetros como: perfil de tensão de regime permanente; perdas elétricas; estabilidade de tensão; estabilidade transitória; afundamento de tensão devido às faltas desequilibradas; e correntes de curto-circuito. Para os geradores síncronos, a análise foi feita para operação com controle do fator de potência e controle da tensão. Para os fatores de perfil de tensão de regime permanente, estabilidade de tensão e estabilidade transitória, o uso deste tipo de gerador no controle de tensão implica em um melhor desempenho da rede e permite que a capacidade máxima da GD seja maior. O uso de geradores síncronos com fator de potência constante, de maneira geral, não é a pior opção do ponto de vista do desempenho global do sistema. Para os geradores assíncronos, seu uso mostrou-se interessante para casos de restrições no nível de curto-circuito, pois permite detecção de falta usando relés de sub e sobre tensão. Dos resultados alcançados, notou-se que a melhor decisão do ponto de vista técnico deve ser tomada baseada nas características da rede.

“Impacto de geração distribuída no afundamento de tensão em redes de distribuição de energia elétrica devido a faltas desbalanceadas” (FREITAS et al., 2005b).

É analisado, neste trabalho, o impacto que geradores alternados, síncronos e assíncronos, podem implicar quando conectados à rede de distribuição, quanto ao afundamento de tensão causado por faltas desequilibradas. Através de simulações computacionais, observou-se que os geradores têm influência na duração e magnitude dos afundamentos, devido à alteração dos níveis de curto-circuito da rede e do comportamento dinâmico do fluxo de potência reativa entre gerador e rede. A análise mostrou que o gerador síncrono com tensão constante pode melhorar o desempenho da tensão na barra em que for instalado, mas pode expor os outros consumidores a afundamentos de tensão mais intensos. Já o gerador assíncrono provoca um agravamento do afundamento de tensão.

“Impactos da expansão da geração distribuída nos sistemas de distribuição de energia elétrica” (MARQUES; et al., 2009).

Este trabalho apresenta estudo da influência de geradores síncronos na distribuição, analisando os aspectos: perfil de tensão; estabilidade de tensão; perdas de potência ativa e reativa; e tempos críticos de eliminação de faltas, em que foram considerados diferentes cenários. A partir dos resultados, pode-se conhecer quais as principais restrições operativas referentes ao nível máximo de penetração da GD relacionados com os desempenhos dinâmicos e de regime permanente dos sistemas de distribuição. Assim, é possível a maximização da quantidade de potência proveniente de GD que se poderá injetar em cada local, sem que se tenham violações de restrições operativas.

4.7. EFEITOS SOBRE O SISTEMA DE TRANSMISSÃO E A GERAÇÃO CENTRALIZADA

Assim como a GD pode alterar os fluxos de potência do sistema de distribuição, o mesmo pode ocorrer no sistema de transmissão. Consequentemente, as perdas na transmissão também podem sofrer alteração, até mesmo redução dependendo do projeto. Além disso, a GD pode acarretar em menor necessidade de investimento na transmissão e redução da dependência de importação de energia em algumas regiões.

Para a geração centralizada, a presença da GD, principalmente com fontes primárias intermitentes, introduzirá uma incerteza adicional no planejamento do despacho de energia para atender a demanda, o que pode implicar na necessidade de unidades de reserva adicionais de potência, ou de reserva girante (OCHOA-PIZZALI, 2006; RIBEIRO; FERREIRA; MEDEIROS, 2005).

5. REGULAMENTAÇÃO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Em discussões em torno da Geração Distribuída, pode-se perceber que ainda existe a necessidade de estabelecimento de regras para que sua instalação à rede se dê de forma confiável e eficiente para o fornecimento de energia elétrica. Em função deste fato, neste capítulo é mostrada a forma como a legislação brasileira se apresenta quanto à regulamentação da Geração Distribuída, buscando mostrar as deficiências ainda existentes. Assim, a seguir é apresentado um panorama mais detalhado deste cenário, através do levantamento do conjunto de regulamentações que fazem referência à GD e os mecanismos de incentivo existentes no Brasil, normatizados pelos órgãos responsáveis.

5.1. RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 687, DE 24 DE NOVEMBRO DE 2015

Nesta data foi alterada a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST.

Ainda não está em vigência pois, trata-se de uma RN que em 2016 deverá promover GD no Brasil de maneira mais ampla e efetiva no Brasil.

5.1.1. Decreto nº 2.003, de 10 de setembro de 1996

Com o surgimento da proposta de conexão de unidades de GD na rede elétrica, fez-se necessário o estabelecimento de regras que determinavam quais seriam os responsáveis por esta geração. Desta forma, buscando-se a definição destes responsáveis, este Decreto os determinou como Produtor Independente e Autoprodutor.

O Produtor Independente de energia elétrica é a pessoa jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebam concessão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao comércio de toda ou parte da energia produzida por sua conta e risco. A comercialização de potência gerada pode ser feita com consumidores e concessionárias ou permissionárias de serviço público de energia elétrica.

O Autoprodutor é a pessoa física ou jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebam concessão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao seu uso exclusivo, podendo fornecer o excedente às concessionárias de serviço público de distribuição, mediante prévia autorização do órgão regulador e fiscalizador.

Além da regulamentação do Produtor Independente e do Autoprodutor, este Decreto trata dos aspectos contratuais, da regularização dos mesmos na ANEEL, e do prazo de duração de ambos. E relata que estes têm direito assegurado ao livre acesso aos sistemas de transmissão e distribuição de concessionárias e permissionárias de serviço público de energia elétrica, por meio de resarcimento do custo de transporte envolvido (BRASIL, 1996).

5.1.2. Resolução Normativa nº 21, de 21 de janeiro de 2000

Como exposto anteriormente, a cogeração pode estar presente em diversas tecnologias usadas pela GD. Esta atividade contribui para um melhor aproveitamento das fontes energéticas, quando comparada à geração individual de calor e energia elétrica.

Reconhecida sua importância, esta RN apresenta a definição de cogeração e estabelece os requisitos necessários à qualificação de centrais cogeradoras de energia (ANEEL, 2000). No entanto, é revogada e aperfeiçoada pela RN nº 235, descrita a seguir.

Resolução Normativa nº 235, de 14 de novembro de 2006

Esta Resolução define cogeração como o processo de operação de uma instalação específica, denominada central termelétrica cogeradora para a produção combinada de energia térmica e mecânica, sendo esta última convertida de forma total ou parcial em energia elétrica, a partir de uma fonte primária de energia.

Também estabelece requisitos para o reconhecimento da qualificação de centrais termelétricas cogeradoras, segundo aspectos de racionalidade energética para fins de participação nas políticas de incentivo à cogeração (ANEEL, 2006b).

5.1.3. Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002

Esta Lei criou o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), que é o principal meio de incentivo, no Brasil, a instalações de unidades de geração de eletricidade que fazem uso de fontes renováveis de energia. Criou também a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), cujo um dos objetivos é estimular a competitividade da energia produzida a partir de fontes alternativas. Sendo a Geração Distribuída uma das formas mais adequadas de se utilizar essas fontes, pode-se dizer que esta é uma lei que incentiva também a instalação de GD (BRASIL, 2002). Há que se considerar que a redação legal desses dois temas tem alterações das Leis: nº 10.762, nº 11.075, nº 11.488 e nº 11.943, quanto ao PROINFA; e das Leis: nº 10.762 e nº 10.848, quanto a CDE (BRASIL, 2003; 2004b; 2004c; 2007a; 2009). Tanto o PROINFA quanto a CDE são abordados de forma mais detalhada na seção Mecanismos de Incentivo (5.3).

5.1.4. Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004

A partir deste Decreto, a Geração Distribuída é reconhecida na legislação brasileira, recebendo conceituação e forma de contratação da energia elétrica produzida por este tipo de empreendimento, como abordado na seção 2.1 (BRASIL, 2004a).

5.1.5. Resolução Normativa nº 77, de 18 de agosto de 2004.

Esta RN, com alterações apresentadas pelas Resoluções nº 157, de 9 de maio de 2005 e nº 271, de 3 de julho de 2007, estabelece procedimentos vinculados à redução de tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição em relação à Lei nº 10.438, sendo aplicáveis aos empreendimentos hidrelétricos com potência instalada igual ou inferior a 1.000 kW, aos empreendimentos de geração caracterizados como Pequena Central Hidrelétrica e àqueles com fonte solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, com potência instalada menor ou igual a 30.000 kW, destinados à produção independente ou autoprodução (ANEEL, 2004a; 2005c; 2007a).

5.1.6. Resolução Normativa nº 167, de 10 de outubro de 2005.

Esta Resolução tem como objetivo estabelecer condições para comercialização de energia proveniente de GD, em que os principais aspectos abordados são critérios contratuais, taxas e impostos a serem pagos pelo proprietário da unidade e a forma como deve ser regularizada na ANEEL (ANEEL, 2005d).

5.1.7. Resolução Normativa nº 228, de 25 de julho de 2006

Já abordada na seção 2.1, a RN nº 228, com atualizações trazidas pela RN nº 284, de

16 de outubro de 2007, estabelece requisitos para a certificação de centrais geradoras termelétricas como Geração Distribuída para comercialização de energia produzida no Ambiente de Contratação Regulada (ANEEL, 2006a; 2007b).

5.1.8. Resolução Normativa nº 247, de 21 de dezembro de 2006

Trata da comercialização de energia proveniente de empreendimentos de geração que utilizem fontes incentivadas, como biomassa, eólica e PCH, cuja potência seja maior ou igual a 500 kW (ANEEL, 2006c).

5.1.9. Resolução Autorizativa nº 1.482, de 29 de julho de 2008

Esta resolução autoriza, por seis meses, a implantação de projetos pilotos de Geração Distribuída em baixa tensão como parte do Programa de Geração Distribuída com Saneamento Ambiental, apresentado pela Companhia Paranaense de Energia (COPEL), que visa contratar a energia elétrica excedente das unidades geradoras.

O programa propõe o estabelecimento de procedimento simplificado no registro de centrais geradoras com potência instalada de até 300 kVA e abrange pequenas propriedades rurais com geração de energia a partir do aproveitamento do biogás produzido por dejetos orgânicos de animais (ANEEL, 2008d).

O prazo de implantação de projetos é prorrogado pelo prazo de doze meses, de acordo com a Resolução Autorizativa nº. 1.900, de 5 de maio de 2009 (ANEEL, 2009c).

O Programa de GD com Saneamento Ambiental é abordado com mais detalhes na seção 5.3.

5.1.10. Portaria nº 36, de 26 de novembro de 2008

Para a tecnologia fotovoltaica, a Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético, através da Portaria nº 36, criou o Grupo de Trabalho de Geração Distribuída com Sistemas Fotovoltaicos (GT- GDSF).

A finalidade do grupo é elaborar estudos, propor condições e sugerir critérios de subsídio em torno de uma proposta de política de utilização de geração fotovoltaica conectada à rede, preferencialmente em edificações urbanas, como forma de auxílio à gestão da demanda de energia e à promoção ambiental do país para curto, médio e longo prazo (BRASIL, 2008).

5.1.11. Resolução Normativa nº 345, de 16 de dezembro de 2008

Esta RN aprova os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional, que por sua vez trata de questões técnicas referentes tanto aos consumidores quanto às unidades produtoras de energia, acessantes do sistema de distribuição. O PRODIST é constituído pelos itens seguintes:

Módulo 1 – Introdução.

Módulo 2 – Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição

Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição.

Módulo 4 – Procedimentos Operativos do Sistema de Distribuição.

Módulo 5 – Sistemas de Medição.

Módulo 6 – Informações Requeridas e Obrigações.

Módulo 7 – Cálculo de Perdas na Distribuição.

Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica (ANEEL, 2008b; 2008c).

O conteúdo dos módulos é abordado com mais detalhes na seção 5.2, com ênfase nos tópicos referentes às unidades geradoras conectadas à distribuição.

5.1.12. Resolução Normativa nº 349, de 13 de janeiro de 2009.

A RN apresenta a Tarifa de Uso dos Sistemas de Distribuição aplicável às Centrais Geradoras (TUSDg), sendo estas conectadas no nível de tensão de 138 kV ou 88 kV. E estabelece os critérios para o cálculo locacional da tarifa (ANEEL, 2009b).

Observa-se que as leis, resoluções e decretos aqui apresentados, em sua maioria, contemplam apenas aspectos burocráticos, relacionados com a comercialização de energia proveniente de GD, entre eles: critérios contratuais, taxas e impostos a serem pagos pelo proprietário da unidade, forma como deve ser regularizada na ANEEL, e incentiva como a criação do PROINFA. Apenas recentemente foram estabelecidos procedimentos técnicos para conexão e gerenciamento da GD, que são apresentados a seguir.

5.2. PROCEDIMENTOS DE DISTRIBUIÇÃO

Os Procedimentos de Distribuição foram elaborados pela ANEEL, com a participação dos agentes de distribuição e de outras entidades e associações do setor elétrico brasileiro. Estes documentos têm o intuito de normatizar e padronizar as atividades técnicas relacionadas ao funcionamento e desempenho dos sistemas

de distribuição de energia elétrica, a fim de garantir que estes operem com segurança, eficiência, qualidade e confiabilidade, e disciplinar o relacionamento entre os agentes interessados no problema apontado.

Nos Procedimentos são consideradas as redes e linhas com tensão inferior a 230 kV, compreendendo as redes de baixa, média e alta tensão, classificadas na seção 4.2. Os agentes subordinados ao PRODIST são: concessionárias, permissionárias e autorizadas dos serviços de distribuição de energia elétrica e de Geração Distribuída; consumidores com instalações conectadas ao sistema de distribuição, em qualquer classe de tensão abaixo do valor estipulado, incluindo conjunto de consumidores reunidos por comunhão de interesses de fato, ou de direito; e agentes importadores ou exportadores de energia elétrica conectada ao sistema de distribuição (ANEEL, 2008b).

O PRODIST é subdividido em oito diferentes módulos, que são abordados a seguir.

Módulo 1 – Introdução

As características gerais do PRODIST, como as citadas acima, são apresentadas neste Módulo 1, assim como a legislação vigente para disciplinar as atividades de distribuição e um glossário de termos técnicos necessário à compreensão do documento, onde é exposto o conceito de GD, apontado na seção 2.1 (ANEEL, 2008b).

Módulo 2 – Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição

O módulo 2 aborda questões relacionadas ao planejamento da expansão do sistema de distribuição, cujo objetivo é definir o plano de obras para um horizonte de estudo, visando adequar o sistema existente às melhores condições operativas e atender às necessidades do crescimento da geração e do consumo de energia elétrica.

Para isso, foram estabelecidos requisitos mínimos de informações necessárias para os estudos de planejamento do sistema de distribuição, como a definição de bases sobre as quais as distribuidoras devem desenvolver os estudos de previsão de demanda de médio e longo prazo. Neste caso, deve-se considerar a Geração Distribuída como um dos requisitos para a elaboração dos estudos de previsão de demanda no sistema de distribuição de alta e média tensão, observando suas características de geração, disponibilidade e sazonalidade.

Estabelece também critérios e estudos técnicos e econômicos de planejamento da expansão necessários para avaliar e definir as futuras configurações do sistema. Os estudos apontados para o planejamento de curto e médio prazo são os de Fluxo de Potência; de Curto-Círcuito; e quando necessário os estudos de Estabilidade de Tensão e de Compensação de Potência Reativa; e de Transitórios Eletromecânicos e Eletromagnéticos. Nos estudos de fluxo de potência, o texto aponta que devem ser considerados critérios de despacho da Geração Distribuída e observados os valores limites de geração de potência reativa e tensão terminal dos equipamentos.

Por fim, este módulo apresenta o Plano de Desenvolvimento da Distribuição (PDD) que deve conter o resultado dos estudos de planejamento elétrico e energético de distribuição, incluindo o plano de expansão, o plano de obras e a relação de obras realizadas. A distribuidora deve enviar os dados do PDD anualmente à ANEEL e mantê-los armazenados por dez anos (ANEEL, 2008b).

Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição

Neste módulo são estabelecidas as condições de acesso ao sistema de distribuição, quanto à conexão e ao uso da rede, aplicadas aos novos acessantes e aos já existentes.

Um ponto relevante à Geração Distribuída nos critérios gerais deste módulo é que as distribuidoras, em acordo com as unidades de geração, podem estabele-

cer operação de forma ilhada de parte do sistema de distribuição, desde que considerados os procedimentos operativos do Módulo 4.

Na seção Procedimentos de Acesso, são descritas as etapas burocráticas de viabilização de acesso ao sistema, como: consulta de acesso, informação de acesso, solicitação de acesso e parecer de acesso; e apresentada a definição de prazos e responsabilidades para a conexão de instalações. São abordadas, também neste tópico, questões relacionadas ao acesso às instalações de interesse restrito de centrais geradoras pela distribuidora e por outra central geradora de energia.

Em outra seção, são definidos os Critérios Técnicos e Operacionais mínimos a serem observados para o desenvolvimento de projetos de acesso, que devem abranger ampliações e reforços no sistema, paralelismo de centrais geradoras, e compartilhamento de instalações de conexão e configurações de barras de subestações. Os critérios de acesso são detalhados para unidades de consumo em baixa, média e alta tensão, e para unidades de produção de energia. Para esta última categoria, as condições de conexão são apontadas na seção 4.2 deste trabalho.

O Módulo 3 também define os Requisitos de Projeto a serem seguidos pelos acessantes na elaboração de projetos de instalações de conexão, mostrando detalhes quanto a redes e linhas, a subestações, e a sistemas de proteção e controle para conexão de centrais geradoras. Apresenta procedimentos para Implantação de Novas Conexões, tratando de critérios de implementação, vistoria e recepção das conexões, e estabelecendo responsabilidades por parte do acessante e da acessada. E estabelece Requisitos para Operação, Manutenção e Segurança da Conexão ao sistema de distribuição, e atribuições, diretrizes e responsabilidades por parte do acessante e da acessada quanto à operação e a manutenção das instalações.

Por fim, o módulo define os Contratos que devem ser celebrados entre acessante e distribuidora, como: o Contrato de Conexão às Instalações de Distribuição (CCD) e o Contrato de Uso do Sistema de Distribuição (CUSD), compreendendo condições técnicas e comerciais.

Observa-se que as centrais geradoras conectadas aos sistemas de distribuição, porém despachadas de forma centralizada pelo ONS, estão sujeitas aos critérios de operação previstos nos Procedimentos de Rede (ANEEL, 2008b).

Módulo 4 – Procedimentos Operativos do Sistema de Distribuição

O Módulo 4 tem o objetivo de estabelecer procedimentos de operação dos sistemas de distribuição para as distribuidoras, outros agentes de distribuição e agentes de transmissão das DIT cujas instalações não são pertencentes à rede de operação do SIN. Tais procedimentos devem ser seguidos na formulação de planos e programas operacionais, que devem considerar a previsão de carga, a programação de intervenções em instalações, o controle da carga em situação de contingência ou emergência, o controle da qualidade do suprimento de energia elétrica e a coordenação operacional dos sistemas.

Além disso, o módulo procura estabelecer a uniformidade de procedimentos para o relacionamento operacional entre os centros de operação das distribuidoras, das transmissoras, dos centros de despacho de Geração Distribuída e demais órgãos de operação das instalações dos acessantes; e definir os recursos mínimos de comunicação de voz e de dados entre os órgãos de operação dos agentes envolvidos. O módulo se apresenta em 6 seções descritas a seguir.

A seção Dados de Carga e de Despacho de Geração traz os procedimentos e requisitos de como o acessante deve fornecer as informações sobre a carga e o despacho de geração para a distribuidora, de modo que esta possa formular os planos e programas operacionais, que incluem previsão de carga.

São estabelecidos procedimentos e requisitos para a Programação de Intervenções em Instalações de distribuição, das DIT, e de conexão dos acessantes, com o intuito de coordenar, executar e otimizar o processo de programação das intervenções em instalações do sistema de distribuição e de instalações dos acessantes que interferem no sistema de distribuição. Esta seção apresenta como deve ser o planejamento das intervenções, das informações para elaboração e prazos para solicitação dos pedidos de intervenções, da consideração quanto ao avi-

so de interrupção programada aos acessantes, e das condições e critérios para programação das solicitações de intervenções. E observa que as intervenções de qualquer natureza em equipamentos do sistema ou da instalação de conexão, só podem ser liberadas com a prévia autorização do Centro de Operação (CO) ou do Centro de Operação de Agente de Transmissão (COT) envolvidos.

A seção Controle da Carga apresenta métodos a serem implementados para o controle da carga do sistema de distribuição pelas distribuidoras junto aos acessantes, em situações de contingência ou emergência, abordando questões quanto aos cortes de carga e priorização de cargas.

Em outra seção são definidos procedimentos e responsabilidades das distribuidoras, dos agentes de transmissão detentores de DIT e dos acessantes para a realização de Testes das Instalações nas atividades de vistoria, aceitação das instalações e avaliação da qualidade de atendimento no ponto de conexão.

Dos testes abordados estão os Testes de Desempenho das Centrais Geradoras Distribuídas, em que a distribuidora acessada pode requerer e acompanhar testes relacionados às funções de proteção nas centrais geradoras; ao desempenho dinâmico de sistemas de controle de tensão e de freqüência das centrais geradoras; à adequada operação de disjuntor na eliminação de faltas; ao desempenho de dispositivos de desconexão das centrais geradoras, se não for permitida a operação ilhada ou a injeção de potência no sistema pelo gerador; ao levantamento da curva de capacidade e dos limites mínimos e máximos de geração de potência ativa das centrais geradoras. Observa-se que os testes de instalações de centrais geradoras despachadas de forma centralizada devem atender também aos Procedimentos de Rede.

São citados também os Testes de Desempenho dos Sistemas de Distribuição, dos Equipamentos Conectados e dos Pontos de Conexão com as DIT. Neles é descrito que a distribuidora acessada define a necessidade e a periodicidade de testes quanto à qualidade da energia elétrica nos pontos de conexão, e também podem ser solicitados nas instalações do acessante, na necessidade de se comprovar a origem de problemas de qualidade da energia. Da mesma forma, o acessante pode requerer da distribuidora acessada a realização e acompanha-

mento de testes para verificar as condições da qualidade da energia elétrica fornecida, quando identificado algum problema.

Outra seção é a Coordenação Operacional que aponta os procedimentos mínimos para o relacionamento operacional entre: os Centros de Operação da distribuidora, o Centro de Operação de Agente de Transmissão dos agentes de transmissão de DIT, o centro de despacho de Geração Distribuída, e demais órgãos de operação de instalações dos acessantes, com o objetivo de tornar a operação das instalações e do sistema de distribuição coordenada e segura.

Em uma última seção são estabelecidos Recursos de Comunicação de Voz e Dados necessários entre o CO, o COT e o Centro de Despacho de Geração Distribuída. Os serviços de comunicação de voz e de dados devem ser estabelecidos em Acordo Operativo entre as partes, sendo os dados de supervisão e controle nos pontos de conexão das instalações de distribuição e das DIT, compartilhados entre CO e COT, monitorados em tempo real (ANEEL, 2008b).

Módulo 5 – Sistemas de Medição

Este módulo apresenta as condições mínimas para a medição das grandezas elétricas do sistema de distribuição; especificação de materiais, equipamentos, projeto, montagem, comissionamento, inspeção e manutenção dos sistemas de medição; e para que os sistemas de medição sejam instalados e mantidos dentro dos padrões necessários aos processos de contabilização da energia, de uso das distribuidoras e da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica.

O documento busca uniformizar critérios para as Especificações dos Sistemas de Medição de energia elétrica utilizados nas conexões aos sistemas de distribuição, destinados ao faturamento da energia elétrica, ao planejamento da expansão do sistema, à qualidade da energia elétrica, e à operação do sistema. São abordados requisitos técnicos mínimos para os sistemas e equipamentos de medição, e para os equipamentos de medição de uso temporário, que são medidores

eletrônicos de energia elétrica e de qualidade de energia e outros equipamentos para medição de uso temporário. É apontado que na existência de fluxo de potência nos dois sentidos, os sistemas de medição devem ser projetados de modo a observar o disposto nos Procedimentos de Rede conforme definido pelo ONS.

São definidos responsabilidades e procedimentos para os agentes envolvidos nas atividades de Implantação, Inspeção e Manutenção dos Sistemas de Medição nas unidades consumidoras ou instalações da distribuidora. E estabelecidos procedimentos básicos para Leitura, Registro, Compartilhamento e Disponibilização das Informações de Medição de grandezas elétricas dos agentes conectados, acessados ou acessantes ao sistema de distribuição. As grandezas elétricas medidas, por leitura remota ou local, podem ser usadas para o planejamento da expansão do sistema de distribuição, e para fins de avaliação da qualidade da energia elétrica do sistema de distribuição, pelo órgão regulador (ANEEL, 2008b).

Módulo 6 – Informações Requeridas e Obrigações

Neste módulo são definidos e detalhados os procedimentos de troca de informações entre distribuidoras, acessantes, entidades setoriais e outros agentes, onde são especificados os conteúdos, a periodicidade e, quando necessário, as unidades das grandezas elétricas e mecânicas requeridas. Este documento busca um amplo e organizado intercâmbio de informações, que é condição essencial para que os sistemas de distribuição operem de forma transparente e eficiente.

Os fluxos de informações e as obrigações estabelecidas aos agentes setoriais e consumidores são abordados conforme sua aplicabilidade e agrupados de acordo com os temas dos módulos técnicos do PRODIST. Os requisitos descritos também consideram centrais geradoras distribuídas (ANEEL, 2008b).

Módulo 7 – Cálculo de Perdas na Distribuição

Aqui são estabelecidos a metodologia e os procedimentos para obtenção dos dados necessários para o cálculo das perdas dos sistemas de distribuição de energia elétrica. Também são definidos indicadores para avaliação das perdas, e estabelecidos metodologia e dos procedimentos para apuração das perdas (ANEEL, 2008b).

Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica

Este módulo visa estabelecer procedimentos referentes à qualidade da energia elétrica (QEE), que englobam a qualidade do produto e a qualidade do serviço prestado.

Para a qualidade do produto, são caracterizados os fenômenos de QEE, estabelecidos critérios de amostragem, valores de referência e procedimentos relativos à qualidade do produto em regime permanente ou transitório, dentre os aspectos de tensão em regime permanente, fator de potência, harmônicos, desequilíbrio de tensão, flutuação de tensão, variações de tensão de curta duração, e variação de frequência. Assim, são estabelecidos mecanismos que possibilitam a ANEEL fixar padrões para os indicadores de QEE.

Para a qualidade dos serviços prestados, este módulo estabelece a metodologia para apuração dos indicadores de continuidade e dos tempos de atendimento a ocorrências emergenciais, definindo padrões e responsabilidades. Estes são definidos com o objetivo de fornecer mecanismos para acompanhamento e controle do desempenho das distribuidoras; fornecer subsídios para os planos de reforma, melhoramento e expansão da infraestrutura das distribuidoras; e oferecer aos consumidores parâmetros para avaliação do serviço prestado pela distribuidora (ANEEL, 2008b).

5.3. MECANISMOS DE INCENTIVO

Reconhecendo-se o valor de fontes menos impactantes ao meio ambiente e o possível esgotamento de recursos fósseis, mecanismos de incentivo estão sendo criados para o uso de energia alternativa, principalmente renovável, permitindo concorrência com os recursos convencionais. No Brasil, existem alguns fundos setoriais e programas de incentivo que estimulam a geração com uso de fontes alternativas que, consequentemente, tornam mais propício o uso de geradores distribuídos. No entanto, apenas um deles refere-se diretamente à GD, e ainda de âmbito regional. Estes são mostrados a seguir.

5.3.1. Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica

O PROINFA, implantado em 2003 e gerenciado pela Eletrobrás, é o maior programa nacional para estímulo à produção de energia elétrica por meio das fontes renováveis, abrangendo pequenas centrais hidrelétricas, geração à biomassa e eólica, como fontes incentivadas. O programa objetiva aumentar a participação de produtores independentes autônomos no Sistema Elétrico Nacional e promover a diversificação da matriz elétrica, através do uso de fontes alternativas.

Em sua primeira fase, foi estabelecida a instalação de 3.300 MW de capacidade, distribuída igualmente entre as três fontes, a princípio até a data de 30 de dezembro de 2006, assegurando a compra da energia a ser produzida no prazo de vinte anos pela Eletrobrás, a partir da data de entrada em operação. A segunda etapa do programa prevê que, atingida a meta da primeira etapa, as três fontes atendam, até 2022, a participação de 10% no consumo anual de energia elétrica do País, considerando os resultados da primeira etapa (BRASIL, 2002).

Em 2004, a Lei nº 11.075 postergou para 30 de dezembro de 2008 a data final de instalação do total da potência estimada para a primeira fase. No decorrer

desse período, a previsão de instalação foi de 1.191,24 MW correspondentes a 63 PCHs; 1.422,92 MW a 54 usinas eólicas; e 685,24 MW a 27 usinas de pequeno porte à base de biomassa (ANEEL, 2004c; 2008a; MME, 2009). Todavia, essa meta não se cumpriu até a data estabelecida. Atualmente, de acordo com o MME (2009), entraram em operação comercial apenas 39 PCHs, 19 usinas a biomassa e 11 usinas eólicas, totalizando 1.583,23 MW.

Um dos fatores responsáveis por esta situação é a elevada dependência de equipamentos importados na montagem das unidades de geração, junto ao índice de 60% de nacionalização dos equipamentos exigido pelo PROINFA. Perante tal circunstância, o Ministério de Minas e Energia anunciou em 2008 a intenção de revisar o programa para estimular o aumento dos investimentos (ANEEL, 2008a; BRASIL, 2002).

Até o final de 2009, a única alteração sofrida pelo programa é a nova extensão do prazo para a primeira etapa, agora para 30 de dezembro de 2010, de acordo com a Lei nº 11.943, de 28 de maio de 2009 (BRASIL, 2009). Para este novo prazo estima-se a entrada de 68 novos empreendimentos, com um montante de 1.591,77 MW no Sistema Interligado Nacional, distribuídos em 23 PCHs (414,30 MW), 2 usinas a biomassa (66,50 MW) e 43 usinas eólicas (1.110,97 MW) (MME, 2009).

Em trâmite na Câmara dos Deputados, há um Projeto de Lei (PL) nº 1.563 de 2007, que busca alterar o PROINFA, modificando para 15% a participação das fontes renováveis na segunda etapa do programa e criando uma terceira etapa, cujo objetivo também é aumentar a participação das fontes no setor elétrico interligado. Este mesmo projeto de lei apresenta o Programa de Incentivo à Geração Distribuída (PGD), com o intuito de estimular a pequena geração local de energia elétrica (BRASIL, 2007b).

5.3.2. Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel

O biodiesel é um combustível renovável que pode ser produzido a partir de gorduras animais ou de óleos de diferentes espécies vegetais. Pode substituir de forma parcial ou total o óleo diesel de origem fóssil, e ser aplicado a motores a combustão interna com ignição por compressão automotivos ou estacionários para a geração de eletricidade.

O uso comercial dessa recente tecnologia de combustível no Brasil foi autorizado pelo Governo Federal através de um marco regulatório que estabelece as condições legais para a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira. O marco regulatório foi apresentado juntamente com o lançamento oficial do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), em dezembro de 2004.

O PNPB, estabelecido pelo Decreto nº 10.093, de dezembro de 2003, é um programa interministerial do governo, que tem como objetivo a implementação da produção e uso do biodiesel de forma sustentável, dentro de um enfoque técnico e econômico. O programa busca garantir preços competitivos, qualidade de suprimento, e promover a inclusão social e o desenvolvimento regional, com a geração de emprego e renda. Isso através da produção de biodiesel por diferentes fontes oleaginosas e rotas tecnológicas, priorizando as características das diversas regiões do país, e possibilitando a participação do agronegócio e da agricultura familiar.

Para isso, foi criado o Selo Combustível Social, um conjunto de medidas específicas visando estimular a inclusão social da agricultura. O selo é concedido a projetos ou empresas produtoras de biodiesel por contratar os agricultores familiares ou suas cooperativas agropecuárias produtoras da matéria-prima, e assegurar a assistência e capacitação técnica dos agricultores familiares contratados.

O enquadramento ao selo social implica em melhores condições de financiamento, destinado a todas as fases de produção do biodiesel, junto ao Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e a outras instituições

financeiras. Dá direito de concorrência em leilões de compra de biodiesel e direito de desoneração de alguns tributos. No entanto, as indústrias produtoras devem garantir a compra da matéria-prima e preços pré-estabelecidos, oferecendo segurança ao agricultor familiar.

Outros atos legais em torno do programa e do marco regulatório são o regime tributário diferenciado de acordo com a região de plantio, a isenção da cobrança de Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) e o estabelecimento de adição obrigatória de um percentual mínimo de biodiesel ao óleo diesel comercializado, em qualquer parte do território nacional, sendo este percentual obrigatório de 2% a partir de 2008 e de 5% a partir de 2013.

Numa visão geral, o PNPB visa reduzir as importações do diesel de petróleo e diversificar a matriz energética com a oferta de biodiesel, contribuir para preservação do meio ambiente com o uso de fonte renovável de energia menos poluidora em relação às de origem fósseis, e promover a inclusão social com o desenvolvimento regional (BIODIESEL, 2008).

5.3.3. Programa de Geração Distribuída com Saneamento Ambiental

Este programa, apresentado pela COPEL, estimula a instalação de projetos pilotos de Geração Distribuída com o aproveitamento do biogás produzido por dejetos orgânicos, motivando, assim, proprietários de empreendimentos rurais e de agroindústria, e até mesmo de outras fontes poluidoras como esgotos domésticos, a gerar energia elétrica a partir do potencial energético contido nos dejetos, o que pode reverter à tendência de eutrofização e pantanização dos reservatórios públicos de água.

O programa visa a contratação pela COPEL da energia elétrica excedente, efetivamente injetada na rede, das unidades geradoras, e proporciona meios de simplificar o registro das centrais geradoras, minimizando restrições legais, autorizadas pela ANEEL, como:

- A dispensa da necessidade de envio dos dados de medição em tempo real para computadores em localizações remotas;
- A dispensa da necessidade de instalação de medidor sofisticado de faturamento; e
- A permissão para desconto de 100% da tarifa de uso do sistema de distribuição.

Este é o primeiro programa de incentivo que faz referência direta a Geração Distribuída e, apesar de abranger apenas a região de concessão da COPEL, o programa tem sua importância, pois a experiência adquirida por ele no Estado do Paraná pode ser usada para propor a criação de um programa de alcance nacional ao Governo Federal (COPEL, 2009).

5.3.4. Conta de Desenvolvimento Energético

Assim como fontes renováveis de energia, o gás natural é um insumo que pode ser amplamente aplicado em centrais de Geração Distribuída. O encargo setorial Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), gerenciado pela Eletrobrás, tem como um de seus objetivos expandir a malha de gás natural para atender estados que ainda não possuem rede canalizada.

Outra função da CDE é viabilizar a competitividade da energia elétrica produzida por fontes alternativas como eólica, PCHs, biomassa e o carvão mineral nacional, nas áreas atendidas pelos sistemas interligados. Além disso, é destinada a propiciar o desenvolvimento energético dos Estados; promover projetos de universalização dos serviços de energia elétrica em todo o território nacional; e garantir recursos para subsidiar as tarifas de fornecimento de energia elétrica aos consumidores integrantes da subclasse residencial de baixa renda (ANEEL, 2003b; ELETROBRÁS, 2009a).

O recurso movimentado para isso é proveniente de pagamentos anuais realizados a título de uso de bem público, cujo valor é fixado pela ANEEL; de multas aplicadas pela ANEEL a concessionários, permissionários e autorizados e; de quotas pagas pelos agentes que comercializam energia elétrica com o consumidor final (ANEEL, 2003b). A CDE foi criada em abril de 2002 e tem duração prevista de 25 anos.

5.3.5. Conta de Consumo de Combustíveis

Este fundo setorial gerenciado pela Eletrobrás tem o intuito de subsidiar a geração térmica em regiões isoladas eletricamente.

A princípio, a Conta de Consumo de Combustíveis Fósseis (CCC), criada em 1973 pelo Decreto nº 73.102 e encerrada em 2005, distribuía para todos os consumidores do sistema parte dos custos do combustível usado por termelétricas dos Sistemas Interligados. Através das Portarias nº 179 e 328 de 1991 do Ministério da Infraestrutura, a Conta foi estendida para subsidiar termelétricas do Sistema Isolado passando a ser denominada Conta de Consumo de Combustíveis Fósseis dos Sistemas Isolados (CCC-ISOL). Em 2002, a Lei nº 10.438 determinou a atuação da CCC-ISOL até abril de 2022.

Os valores recolhidos pelo fundo são provenientes de todas as empresas Distribuidoras, Transmissoras e Cooperativas Permissionárias na proporção e valores determinados pela ANEEL (ELETROBRÁS, 2009b).

O ponto de interesse deste encargo setorial é que, a partir de 1998, passou-se também a ressarcir parcela de investimentos em projetos que tragam economia ao fundo e projetos que substituam o uso de derivados de petróleo (ELETROBRÁS,

2009b). Um exemplo citado em ANEEL (2009d) é a PCH Monte Belo, que foi um dos projetos que já pode contar com este financiamento.

Assim, pode-se dizer que a CCC-ISOL é um meio de incentivar a GD de forma indireta. Isso porque o incentivo a geradores isolados pode causar um maior investimento em diferentes equipamentos de geração de pequeno porte, o que implica em maior desenvolvimento tecnológico, com maior eficiência e menores preços, contribuindo para o amadurecimento comercial de algumas tecnologias, que também são usadas como GD. Desta mesma forma, existem outros incentivos como, por exemplo, a universalização dos serviços de energia elétrica estabelecida pela Lei nº 10.438 de 2002.

Por esta seção, pode-se observar que existe no Brasil apenas o Programa de Geração Distribuída com Saneamento Ambiental com incentivo direto à GD, que atinge apenas a região de concessão da concessionária COPEL; e o PROIN-FA que possibilita a implantação de geradores distribuídos, mas não contemplam geradores de pequeno porte. Os outros incentivos citados atuam de forma indireta sobre a expansão da GD, impulsionando o desenvolvimento de tecnologias aplicadas a ela e o uso de fontes alternativas. Cabe citar que estes são incentivos válidos, no entanto não são suficientes para alcançar altos investimentos em GD. Espera-se que em um futuro próximo sejam criados programas de incentivos definitivos para a implantação e disseminação de Geração Distribuída no Brasil.

5.4. ANÁLISE DA LEGISLAÇÃO

A intervenção do governo pode incentivar ou inibir o desenvolvimento da Geração Distribuída no país, sendo a legislação sua ferramenta principal. Através do estabelecimento de regras, regulamentos, resoluções, entre outros, é possível se preparar o mercado de eletricidade para a implantação de novas formas de geração e promover o seu desenvolvimento, ou então impedir seu crescimento por

meio de regras limitantes, ou simplesmente não fornecendo os instrumentos necessários para sua disseminação.

Para melhor compreensão do cenário legislativo da GD no Brasil, fez-se uso de um cronograma legislativo apresentado por Lora e Haddad (2006). De acordo com os autores, a legislação pode ser classificada em quatro modalidades que atuam de forma diferente sobre determinada questão, são elas:

- A Legislação Seminal: que induz e prepara o mercado para um novo ponto de vista, transformando a maneira como a indústria funciona.
- A Legislação Regulamentadora: que define o contorno do problema em questão e dá forma de execução à legislação seminal.
- A Legislação Normativa: que estabelece detalhes técnicos e operacionais decorrentes da regulamentação estabelecida, podendo facilitar ou inibir o desenvolvimento da indústria.

Cabe à Legislação Regulamentadora e Normativa explicar como o poder público pode interferir e fiscalizar o funcionamento previsto pela legislação central. Ambas devem atuar de forma preventiva, de modo que se antecipem e evitem possíveis problemas.

- Explicar - E a Legislação Indutora: esta surge em um ambiente já estabelecido e transformado, em que busca atender novas necessidades do mercado, incentivando o seu desenvolvimento, aperfeiçoando e corrigindo desvios de funcionamento. A ausência desta realimentação legislativa pode emperrar o processo em questão.

A figura seguinte mostra o diagrama de interação entre essas modalidades legislativas.

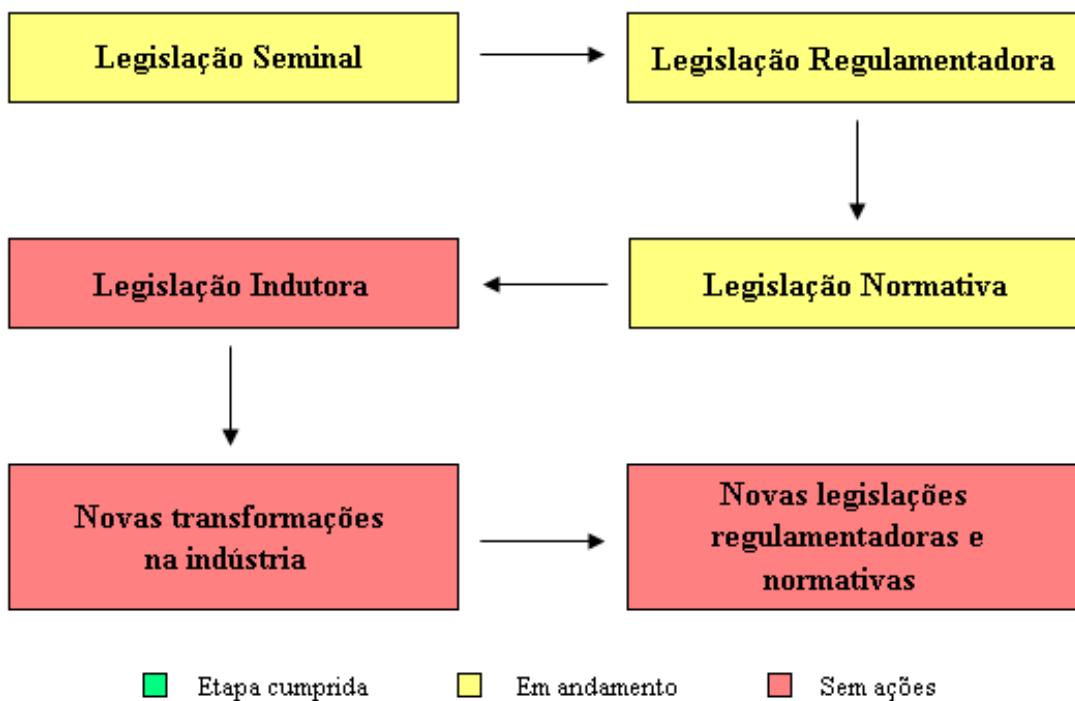


Figura 5.1 – Diagrama de evolução da legislação

FONTE: LORA; HADDAD, 2006 – Adaptado

Como na Figura 5.1, para que o setor elétrico adotasse totalmente a implementação da GD deveria ser adotado o seguinte cronograma de estabelecimento das legislações: as Seminais, com adoção de incentivos e regras de modo para abrir espaço no mercado de energia à GD; elaboração de legislação Regulamentadora e Normativa para estabelecer normas técnicas necessárias de instalação e operação; e para finalizar a Legislação Indutora, se houvesse a necessidade de mudanças no contexto imposto pelas legislações anteriores (LORA; HADDAD, 2006).

No caso, o setor elétrico brasileiro ainda se encontra trabalhando nos primeiros passos da Legislação Seminal, transformando o setor com a criação do PROINFA e a definição do conceito de GD e de regras de venda da energia gera-

da; e da Legislação Regulamentadora e Normativa com a criação do PRODIST, nas quais algumas questões técnicas e operativas começam a ser definidas conforme discutidas anteriormente. No entanto, resta muito a ser feito para o total cumprimento do cronograma de legislação, e pode-se concluir que ainda nenhuma de suas etapas foi completamente cumprida.

Conforme Lora e Haddad (2006), com a falta de definição do cronograma de legislação, surgem questões a serem respondidas pelo setor elétrico, pelo governo e pelos órgãos regulamentadores, descritas a seguir.

Questões a Serem Definidas com a Legislação do Tipo Seminais

Para o estabelecimento da GD de forma definitiva no mercado de energia elétrica, um programa de incentivo específico, de âmbito nacional, deve ser criado. Neste contexto, algumas questões precisam ser traçadas quanto à meta a ser atingida pelo programa, como a dimensão do programa, se este será estabelecido em termos de recursos renováveis ou em capacidade; em quanto tempo deverão ser atingidas as metas do programa; se haverá subsídios, de onde virão, e por quanto tempo vão durar (LORA; HADDAD, 2006).

Questões a Serem Definidas com a Legislação dos Tipos Regulamentadora e Normativa

No âmbito destas formas de legislação, algumas questões já são abordadas. Quanto aos custos do transporte da eletricidade através das linhas de distribuição, algumas fontes de Geração Distribuída são isentas ou tem tarifa diferenciada, como apresentado nas seções 5.1 e 5.3.

No PRODIST, critérios de acesso e conexão de geradores no sistema de distribuição, responsabilidade quanto à qualidade da energia gerada e à confiabilidade de fornecimento, e critérios de medição para a contabilização da potência for-

necida são assuntos já estabelecidos, sejam eles coerentes ou não à tentativa de expansão da GD no setor elétrico.

Outras questões, apresentadas por Lora e Haddad, precisam ainda de definição. Dentre elas estão: contratos de *back-up* ou capacidade de reserva, e restrições de transmissão e de distribuição provocadas por ausência da GD; e os efeitos da interruptibilidade nos preços de energia para clientes finais ou para concessionárias (LORA; HADDAD, 2006).

Questões a Serem Definidas com a Legislação Indutora

A legislação indutora só será elaborada caso haja necessidade de mudanças no cenário projetado pelas legislações apresentadas anteriormente, como nos custos de transporte, contratos, subsídios, entre outras questões (LORA; HADDAD, 2006).

Através dessa seção, são esclarecidos alguns pontos que vêm dificultando e atrasando a conexão da GD no sistema elétrico brasileiro, no que se refere à legislação vigente. Outros aspectos são discutidos a seguir.

6. MUDANÇA DE PARADIGMA PARA O ESTABELECIMENTO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Atualmente a discussão sobre temas que envolvem energia elétrica, como é o caso da GD, implicam em preocupação com o meio ambiente, assunto este que vem aos poucos ganhando espaço no cenário econômico. Porém, percebe-se a existência de um conflito entre as ideias de crescimento econômico e de preservação ambiental. Do ponto de vista energético, por um lado, economistas defendem a necessidade de atender e estimular a demanda crescente de energia para alimentar a expansão econômica e, por outro lado, ambientalistas tentam limitar a construção de novos empreendimentos de geração de eletricidade, a fim de preservar o ambiente. Essa situação é ilustrada por Lucon e Goldemberg (2009), com a seguinte frase:

Os jornais mostram a ponta desse iceberg: enquanto as notícias de catástrofes de origem climática se concentram na seção de “Ciências”, o caderno de “Economia” enaltece o aumento na produção de petróleo.

O fato é que grande parte da sociedade está acostumada aos benefícios e facilidades trazidos pela energia, ao passo que os efeitos causados pela intervenção humana ao meio, sejam na exploração dos recursos naturais ou pela poluição e impactos gerados na produção de energia, são cada vez maiores. Percebe-se, assim, a necessidade de uma sincera integração entre economia e ecologia, em que o ideal seria encontrar um ponto de equilíbrio entre o desenvolvimento econômico e social, e o respeito às condições naturais do planeta.

A implantação da Geração Distribuída, se desenvolvida de forma consciente, pode ser um meio de contribuir para essa visão mais equilibrada do modo de vida do ser humano. Um exemplo que caracteriza esta situação no Brasil é a iniciativa da Itaipu Binacional, através da Plataforma Itaipu de Energias Renováveis, em

conjunto com a COPEL e outras instituições, de promover o uso de recursos renováveis para a produção de energia elétrica na Região Oeste do Paraná, que compreende a área de influência direta do reservatório de Itaipu. Tal iniciativa, juntamente com o Programa de Geração Distribuída com Saneamento Ambiental, busca incentivar de forma especial a geração de eletricidade com o uso do biogás, produzido a partir do tratamento de dejetos e efluentes (BLEY, 2009).

O aproveitamento de resíduos orgânicos é feito através da biodigestão, um processo de degradação biológica que gera, além de um biofertilizante, o biogás. Este gás formado nos biodigestores é constituído principalmente por metano (em sua maior parte) e dióxido de carbono, sendo o poder calorífico do metano convertido em energia elétrica através de motogeradores.

O uso desta tecnologia traz benefícios importantes ao meio ambiente por fazer tratamento sanitário de efluentes, reduzindo, deste modo, a poluição nos rios, a contaminação dos solos e o mau cheiro (BLEY, 2009; CATAPAN; CATAPAN, 2009). Além disso, através do aproveitamento do biogás gerado pelos dejetos, é possível a obtenção de Créditos por Redução Certificada de Emissões de gases do efeito estufa, no caso o metano, previstos no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo do Protocolo de Kyoto.

A energia elétrica produzida por esses empreendimentos é utilizada para o autoconsumo da propriedade, reduzindo ou evitando o uso de energia proveniente da rede, podendo haver a venda do seu excedente à concessionária local. Consequentemente, tal situação traz resultados econômicos ao produtor e apoio ao desenvolvimento da região (BLEY, 2009).

A Granja Colombari, em São Miguel do Iguaçu - PR, com potência instalada de 32 kW, foi a primeira unidade de Geração Distribuída desta iniciativa a entrar em operação, sendo esta de caráter experimental, com liberação da COPEL para geração em paralelo à rede de eletricidade pública.

De acordo com Bley (2009), o desempenho conquistado por esta unidade de GD com geração de pequena escala foi considerado satisfatório e viável do ponto de vista técnico. Porém, a energia fornecida às instalações na rede de distri-

buição encontra dificuldades para ser comercializada com a COPEL por limitações existentes na regulamentação brasileira, dificultando a viabilidade da GD na região e no país.

Outra limitação é apresentada por Catapan e Catapan (2009), em que afirmam que os equipamentos usados na biodigestão e na transformação da energia do biogás em eletricidade têm elevado custo e sua utilização fica restrita a criadores rurais em larga escala ou a usinas de lixo, resultando em um pequeno número de empreendimentos que possuem tal equipamento.

Mesmo com essas limitações, a iniciativa apresentada é de grande valor social e ambiental, contudo é uma situação pontual. Percebe-se que o interesse observado nas ações governamentais está voltado principalmente a unidades de geração de grande porte. Este tipo de geração é dominante no país, entretanto, a construção desses empreendimentos é responsável por grandes impactos ambientais concentrados numa mesma região, e reforça a necessidade de linhas de transmissão, que implicam em desmatamento de extensas áreas.

Com a reestruturação do setor elétrico, atualmente, é exigida a elaboração de estudos e relatórios de impactos ao meio ambiente, junto à elaboração e execução de um projeto ambiental para viabilizar o empreendimento. Porém, existe a dúvida se os critérios adotados para avaliação desses processos são realmente efetivos e suficientes à preservação ambiental (ANDRADE, 2004).

A prioridade do setor elétrico nacional pelas grandes obras no aumento da oferta de energia atualmente é menos intensa, devido às burocracias e custo envolvidos no licenciamento ambiental da obra. Mesmo assim, o interesse pela geração de grande porte ainda é bastante significativo, pois direciona fluxo de recursos financeiros a grupo de empresas afins, além da exaltação política que um grande empreendimento traz. Observa-se, desta maneira, que o poder político sobrepõe as necessidades sociais e ambientais, que ficam em segundo plano (ANDRADE, 2004; SHAYANI; OLIVEIRA; CAMARGO, 2006).

Com este cenário, o argumento de que a GD pode trazer benefícios socioambientais não é suficiente para que receba incentivos governamentais para o seu

desenvolvimento. Ou seja, a GD conquistará espaço na atual estrutura econômica somente quando for apontada estratégicamente como uma forma de oferecer lucratividade às grandes empresas. Isso porque a sociedade capitalista é orientada a maximizar seus lucros e nesta visão as produções em larga escala são mais atrativas economicamente do que sistemas descentralizados (SHAYANI; OLIVEIRA; CAMARGO, 2006).

A economia, em seu formato atual, tem como característica a busca incessante pelo crescimento. Para os governos, os mercados e os economistas existem uma grande preocupação em relação à capacidade da economia continuar crescendo infinita e ininterruptamente, e crescer sem o devido planejamento requer acentuado uso de recursos energéticos o que acarreta em sérias implicações para o meio ambiente. Consequentemente, o cenário atual da crise ambiental é decorrente do modelo de produção de bens e serviços para consumo e satisfação das necessidades da sociedade atual (HINRICHES; KLEINBACH, 2003).

Essa análise mostra que a economia é tida como um processo isolado e auto-sustentado, a qual não leva em consideração o fato de não existir atividade econômica sem que haja trocas contínuas com o meio ambiente, sendo este afetado de forma cumulativa. Além disso, considera-se que os sistemas de produção e consumo são neutros para a natureza, que os sistemas econômicos não apresentam nenhuma interligação com a natureza, mesmo esta sendo usada como fornecedora gratuita a estes sistemas (MUELLER, 1998; PENTEADO, 2008).

No entanto, não é coerente dizer que atualmente não há comprometimento com a questão ambiental. A preocupação com o meio ambiente existe, porém, neste modelo econômico atual que vem vigorando ao longo de vários anos, sobrepõe a busca constante por crescimento às reais necessidades ambientais.

Uma visão diferenciada que surgiu devido à preocupação com o meio ambiente por volta dos anos de 1960 e 1970, é o conceito de Economia Ecológica ou Ecoeconomia. Esta é uma abordagem transdisciplinar a qual busca a integração entre as disciplinas da economia e da ecologia, em que se considera a natureza como parte integrada do sistema econômico (PENTEADO, 2008).

Pode-se dizer que a economia ecológica está mais próxima da realidade no entendimento das questões energéticas e ambientais, mostrando a irreversibilidade dos processos naturais através do conceito de entropia, termo este associado ao grau de desordem de um sistema. A entropia de um sistema aumenta contínua e irreversivelmente até um máximo, ou seja, toda a energia disponível é transformada continuamente em energia indisponível até que desapareça por completo, explicando, assim, que o processo econômico pode influenciar o equilíbrio ecológico (PENTEADO, 2008).

Levando em consideração este fato, a ecoeconomia aponta para a necessidade de incentivos no uso de recursos naturais renováveis infinitos, como o sol, o vento e o hidrogênio, pois além de ser infinita, a geração de energia através destes recursos é considerada limpa, ou seja, sem emissão de poluentes (PENTEADO, 2008).

Contudo, esta teoria se apresenta distante do que é praticado no modelo econômico atual. A preocupação ambiental existe, porém as atitudes tomadas não são suficientes para a preservação das condições naturais do planeta. Isto pode ser observado pela forma como alternativas menos degradantes ao meio ambiente são consideradas, como é o caso da Geração Distribuída, no Brasil. Apesar de seu uso implicar em menor impacto ambiental, favorecendo o uso de fontes energéticas limpas, e promover o desenvolvimento local de onde é utilizada, não existem nos países incentivos que proporcionem um real desenvolvimento deste tipo de geração, prevalecendo o interesse por fontes energéticas que geram maior lucratividade.

Analisando as características da economia atual e da economia ecológica relacionada às questões ambientais e energéticas, fica evidente a grande diferença existente entre elas e a necessidade de mudança no sistema econômico que opera durante anos. É necessário que haja a transição deste atual modelo para o conceito referente à economia ecológica, pois encara a natureza somente como sendo um meio de produção gerador de riquezas para o ser humano, o que é insustentável.

Entretanto, para que haja uma transformação significativa na questão ambiental, não basta somente adotar sistemas ecoeficientes e limpos de energia. É preciso que a ideia de crescimento infinito seja descartada, pois a ecoeconomia aponta que mesmo com uma matriz energética baseada em recursos renováveis infinitos, ela estará sempre sujeita à finitude do solo, da água e dos recursos minerais necessários, por exemplo, para produzir uma turbina de energia eólica.

A mudança para uma matriz energética eco econômica indica que a humanidade deverá reduzir a marcha entrópica, sendo necessária a adoção de um estado em que a ideia de desenvolvimento não seja mais entendida como crescimento econômico, implicando em uma remodelagem do padrão de produção e de consumo, originando uma mudança no significado de “felicidade” atualmente vinculado ao alto padrão de consumo arraigado em algumas sociedades.

Sendo assim, faz-se necessário uma nova visão cultural da sociedade que deverá ter preocupações cada vez mais elevadas com o meio ambiente, mas para que isso se torne uma realidade é preciso estabelecer estratégias políticas para introdução consciente de novas fontes de geração, inclusive a Geração Distribuída.

7. DISCUSSÃO QUANTO AO CENÁRIO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO BRASIL

Através do levantamento bibliográfico realizado durante o desenvolvimento desta pesquisa, observa-se que diversos fatores foram identificados como limitantes à disseminação da GD no Brasil, dentre eles:

- Questões vinculadas ao custo das tecnologias e da energia gerada;
- Questões técnicas de compatibilidade com a rede;
- Questões legislativas e falta de mecanismos de incentivo; e
- Outras questões que estão relacionadas com tendências políticas e valores da sociedade.

As dificuldades ligadas às tecnologias são referentes a questões de mercado. Diferentes tecnologias surgiram ao longo dos últimos anos, porém, o grau de desenvolvimento de boa parte dessas novas tecnologias não é suficiente para lançá-las de forma competitiva no mercado, muitas vezes o seu custo de implantação ainda é bastante elevado se comparado ao das tecnologias convencionais. Assim, o investimento inicial não se torna atrativo do ponto de vista econômico. Na comparação de custos, observa-se que não há uma valorização eficiente às fontes alternativas por proporcionarem a diversificação da matriz, e às fontes renováveis e limpas de energia que contribuem com a preservação do meio ambiente.

Outro aspecto de mercado envolvendo essas tecnologias diferenciadas é o alto valor atingido ou pleiteados nos leilões de energia nova pelas fontes alternati-

vas biomassa e eólica, respectivamente, em relação ao valor alcançado pela energia que será produzida pelas hidrelétricas do Rio Madeira. Condição essa que incentiva a compra de energia proveniente de tipos de empreendimentos convencionais, e consequentemente dificulta as tecnologias emergentes a ganhar espaço no mercado.

Do ponto de vista técnico, a incompatibilidade com a rede se dá pela diversidade de tipos de geradores que são diferentes dos usados convencionalmente, e porque as linhas de distribuição foram planejadas para entregar às cargas, energia proveniente das linhas de transmissão num único sentido de fluxo.

A presença de geradores na distribuição altera sua estrutura padrão, o que leva à necessidade de se rever questões como equipamentos de proteção, topologia do sistema e qualidade da energia entregue, e adaptar ou criar ferramentas para a análise curto-círcuito e estudos de fluxo de potência que considerem unidades de geração na rede de distribuição. Além disso, existe a preocupação com o ilhamento, em se proteger de forma adequada a geração ilhada intencional e com autorização para operar, e em se detectar o ilhamento não proposital ou que não é permitido.

Estudos envolvendo tais assuntos já estão sendo desenvolvidos no âmbito acadêmico, contudo ainda existem diversas questões a serem solucionadas. Um exemplo é que dentre os trabalhos pesquisados para sistemas de proteção, estudos contemplam normalmente geradores síncronos, comuns no sistema elétrico brasileiro. Não são abordadas soluções para geradores de indução ou para sistemas de corrente contínua que utilizam conversores.

Desta forma, é importante apontar que existem inúmeras variáveis envolvidas na instalação da GD a serem analisadas quanto ao tipo de tecnologia usada, a sua localização e dimensão, à proteção, entre outros. E cada caso de GD a ser implementado deve ser avaliado e testado de acordo com suas características próprias.

Tal situação torna complexa e menos vantajosa a instalação de GD para as concessionárias, pois o trabalho de se implantar um elemento diferente na

rede, buscando atender todos os requisitos de proteção, confiabilidade e qualidade exigidos, não apresenta um retorno financeiro atrativo, em curto prazo, que é a taxa cobrada pela passagem de energia em sua rede.

Além disso, há ainda uma dificuldade em se detectar a fonte exata de falhas no sistema, assim, danos à rede e a outros acessantes por falhas provenientes de geradores distribuídos ficam à responsabilidade da concessionária local. Em função desses fatores, apesar de ser obrigada a fornecer o ponto de conexão à GD, a concessionária pode impor regras de acesso impraticáveis ao empreendimento de geração. Surge assim a necessidade de se padronizar os critérios e as responsabilidades de conexão e operação da GD.

No âmbito legislativo, percebe-se uma modesta atenção em torno da GD. Os pontos mais importantes contemplados pela regulamentação brasileira são: a permissão de se conectar geradores ao sistema de distribuição pelo autoprodutor e pelo produtor independente; o estímulo à cogeração; a definição de um conceito e de regras comerciais para a GD; a criação do PROINFA, do GT-GDSF e a autorização do Programa de Geração Distribuída com Saneamento Ambiental; e a criação da TUSDg e o desenvolvimento do PRODIST.

O PRODIST é o primeiro documento que estabelece regras de conexão e operação para geradores distribuídos, entretanto, nem todos os critérios são coerentes a uma modalidade que ainda não está estabelecida no mercado. Algumas exigências são onerosas e inviáveis ao pequeno gerador, como é o caso da necessidade de sistemas sofisticados de medição e de comunicação de dados em tempo real.

Das resoluções, decretos e leis restantes, apenas princípios básicos são contemplados, os quais não atendem um cronograma específico para o estímulo à GD. Assim, o cenário da Geração Distribuída no Brasil vai buscando se estabelecer lentamente através de pesquisas e projetos pioneiros desenvolvidos por interessados na proposta de uso da GD. Diante desse quadro, pode-se afirmar que a legislação brasileira se caracteriza mais por inibir do que incentivar o desenvolvimento de um mercado para a Geração Distribuída.

Isso pode ser demonstrado pelo fato de que o único programa de incentivo direcionado à GD no país, o Programa de Geração Distribuída com Saneamento Ambiental, não é de âmbito nacional, atende apenas a região de concessão da COPEL. Constatase, então, mais uma vez, a necessidade de políticas de incentivos, seja na implantação de geradores, na venda da energia, ou em algum mecanismo de respaldo às concessionárias.

Outra limitação ao desenvolvimento da GD é a prioridade sobre as centrais geradoras de grande porte, que trazem maior evidência política aos governantes e direcionam fluxo de recursos financeiros a grupo de empresas afins. Observa-se assim que, muitas vezes, os hábitos humanos estão fortemente arraigados à busca de poder e a valores econômicos e financeiros que mostram superioridade aos valores sociais e ecológicos.

Pode-se perceber ao longo da investigação sobre as barreiras envolvidas no desenvolvimento da GD no Brasil que tanto aspectos técnicos, normativos, tecnológicos, comerciais e políticos interferem na disseminação deste tipo de geração.

Com o intuito de ilustrar e até mesmo atualizar as informações obtidas através da pesquisa, entrou-se em contato com três empresas de energia ligadas à implantação de unidades de Geração Distribuídas. São elas a AES Eletropaulo, a COPEL e a Itaipu Binacional.

A AES Eletropaulo detém em suas instalações duas usinas termelétricas a biogás (produzido em aterros sanitários): a usina São João Biogás, com 20.000 kW de potência instalada, localizada no município de São Paulo – SP; e a usina Bandeirante, com potência de

21.560 kW, também localizada em São Paulo.

A COPEL, com o Programa de Geração Distribuída com Saneamento Ambiental, e a Itaipu Binacional com a Plataforma Itaipu de Energias Renováveis, em parceria, atendem a mesma iniciativa de permitir a injeção de potência na rede a

partir da geração elétrica com uso do biogás proveniente de dejetos orgânicos. As usinas participantes dessa iniciativa, em operação, são:

- ETE Ouro Verde, da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), em Foz do Iguaçu - PR, com potência de 20 kW.
 - Unidade Industrial de Aves, da Cooperativa Agroindustrial Lar, em Matelândia - PR, com potência de 160 kW.
-
- Unidade Industrial de Vegetais, da Cooperativa Agroindustrial Lar, em Itaipulândia - PR, com potência de 40 kW (ANNEL, 2009a).

E outras três unidades estão em desenvolvimento:

- Condomínio de Agroenergia da Agricultura Familiar, em Marechal Cândido Rondon - PR.
- Fazenda Star Milk, em Vera Cruz do Oeste - PR.
- Unidade Produtora de Leitões - Cooperativa Lar, em Itaipulândia - PR (PLATAFOR-MA ITAIPU, 2009).

Foi enviado a essas três empresas (AES Eletropaulo, COPEL e Itaipu Binacional) um roteiro de perguntas para se conhecer o processo de instalação e operação dos empreendimentos e as dificuldades encontradas. As informações relevantes colhidas são mostradas a seguir e os questionários da maneira como foram enviadas pelas empresas são apresentadas nos Anexos A, B e C. Observa-se que os questionários foram respondidos por um único integrante de cada empresa, que se propuseram a responder as perguntas dentro da sua área de atuação e dos critérios de sigilo da empresa, deste modo, algumas questões não foram respondidas.

Usinas São João Biogás e Bandeirante

A iniciativa de concepção das usinas São João e Bandeirante partiu de empreendedor privado que viu oportunidade de ganhos através da venda da energia e de créditos de carbono. A compra dos equipamentos de geração e de conexão à rede das unidades de geração foi de responsabilidade do próprio empreendedor, que contratou empresas especializadas para o projeto de instalação, submetendo-o às exigências técnicas da concessionária quanto à proteção e automação de modo a garantir a segurança dos equipamentos e das equipes de manutenção da concessionária e da usina.

Coube à concessionária, por obrigatoriedade, fornecer o ponto de conexão que foi escolhido através da análise de fatores técnicos, como: maior ganho operativo, maior necessidade de injusão de energia, problemas de tensão, sobrecarga em equipamentos, indicadores de desempenho; e de fatores econômicos, como: menor custo, menor impacto socioambiental e maior facilidade de implementação do projeto.

Para a conexão da usina São João foi necessária a construção de dois circuitos de 34,5 kV e a instalação de um transformador e equipamentos associados em uma subestação da concessionária. Neste caso, esses circuitos ainda são exclusivos para a conexão da usina na rede da concessionária, ou seja, não há cargas conectadas a essas linhas.

No caso da usina Bandeirante, não houve a necessidade de construção de linhas para acessar a rede. A usina foi inserida no trajeto de quatro circuitos de distribuição de média tensão (13,8 kV). Contudo, foi necessária a construção de uma subestação de chaveamento no ponto de conexão da usina. Esses circuitos têm clientes instalados, tanto a montante, quanto a jusante da conexão da usina.

Para ambas as usinas, não há controle de despacho pela concessionária para produção de energia injetada na rede. De acordo com critérios de contrato, mesmo nos períodos em que não é necessária a potência, ela é injetada e vendida. Por outro lado, nos períodos onde ela é imprescindível, não há garantia regulatória suficiente de que ela deva ser fornecida.

Das responsabilidades que devem ser cumpridas pelo proprietário da GD e pela concessionária está o cumprimento do acordo operativo, a manutenção de seus equipamentos, os cuidados para não se provocar a degeneração dos indicadores de qualidade da rede, e a manutenção do seu sistema de proteção.

A implantação desses empreendimentos encontrou dificuldades na adaptação do projeto do cliente às recomendações da concessionária quanto à proteção e automação. O projeto foi elaborado e executado em um pequeno intervalo de tempo e houve muito conflito entre os envolvidos. Foi necessária a elaboração de um acordo operativo em que constam as atribuições operativas tanto do operador da usina quanto da concessionária, visando garantir a segurança das pessoas e dos equipamentos envolvidos, bem como manutenção da qualidade do fornecimento. Na operação das usinas, as dificuldades enfrentadas estão na seletividade das proteções entre os equipamentos de geração da usina e de conexão com a rede.

Para essas duas usinas, não há possibilidade de se operar de forma ilhada, devido a questões técnicas de partida *black start* (capacidade de partida autônoma ou de auto-restabelecimento), proteção e segurança operativa. Seria muito interessante se tais questões fossem superadas para promover maior confiabilidade do fornecimento.

Do ponto de vista da concessionária envolvida com essas usinas, se houvesse uma normatização adequada, a entrada de unidades de GD ao sistema se tornaria mais interessante. Elas poderiam ser inseridas em pontos estratégicos da rede, adiando investimentos e diminuindo perdas. Entretanto, com o atual cenário, em relação à falta de critério de fornecimento da energia, a GD está desfavorecendo não somente a concessionária, como também os clientes.

Usinas do Programa de Geração Distribuída com Saneamento Ambiental

A iniciativa de se investir em unidades de GD partiu do acessante em conjunto com a Plataforma de Energias Renováveis de Itaipu, que formaram parceria com a COPEL, a SANEPAR, o Instituto Ambiental do Paraná (IAP), a Granja Colombari e a Cooperativa Lar.

Os equipamentos de geração (gerador, sensores, atuadores, equipamentos de controle e acionamento elétrico) foram adquiridos pelo acessante e pelo Instituto de Pesquisas de Itaipu através de projeto aprovado junto à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) para pesquisa e desenvolvimento (P&D) em GD, da mesma forma que os equipamentos de conexão (disjuntores, chave seccionadora, equipamentos de medição, relés de proteção).

Os equipamentos utilizados para a conexão envolvem monitoramento, controle e proteção das unidades geradoras, dentre eles:

- Equipamentos de Proteção na conexão com as funções: de sobre corrente de fase e de neutro, temporizada e instantânea; relé de sobre e de sub-tensão; relé de anti-ilhamento (função 78, também conhecida como salto de vetor); potência reversa; direcional de sobre corrente.
- E outras funções consideradas como proteção da própria máquina, que não são exigidas: relé de sincronismo, sobre e subfrequência.

O ponto de inserção do gerador é definido através de critérios de conexão, em que se estuda o melhor local de acesso, sendo a instalação normalmente estabelecida numa subestação através de linha expressa exclusiva. Todavia, para o programa de Geração Distribuída, a princípio, a conexão foi realizada no mesmo ponto onde o acessante já operava como carga, assim não houve construção de nova linha para acessar a rede.

Para a implantação das unidades de GD, foram feitas simulações computacionais, testes laboratoriais, testes de campo e operação experimental das unidades de demonstração.

A energia gerada é usada para o autoconsumo e o excedente é despatchado à rede, sendo que alguns acessantes despachavam de 30 kW até 150 kW. A energia é comercializada por chamada pública, no caso, com própria COPEL. Com a parceria, a COPEL não visa interesse econômico na energia, busca apenas fomentar a geração de energia com sustentação social e ambiental.

Para o nível de potência em questão, não há controle e despacho centralizado pela concessionária, o empreendimento é livre para gerar e manter os compromissos de venda de energia. Em função disso, a COPEL procura manter no máximo 40% de GD por alimentador.

Uma das dificuldades encontradas na implantação desses empreendimentos ocorreu em torno do dispositivo de atuação redundante. A COPEL não permitiria a conexão sem que houvesse a proteção redundante através de tele proteção, em que a atuação do religador da subestação provoca o acionamento do disjuntor geral de conexão do acessante de forma automática. No referido programa de Geração Distribuída, a proteção redundante foi realizada através do relé 78 (anti-ilhamento). As dificuldades ocorreram principalmente no ajuste desta função de proteção a condição ideal de atuação, que foram sanadas através do acompanhamento do desempenho do acessante. Observa-se que a tais empreendimentos não foi concedida a permissão de operação ilhada, os dispositivos de proteção devem desligar os geradores na falta da concessionária.

Outros pontos de dificuldades na instalação ocorreram no modelamento da venda de energia e na regulação do sistema de controle de geração do próprio acessante que constantemente parava de gerar por problemas internos de integração entre o sistema de controle automático e o grupo motor gerador.

Na operação, há dificuldade na ocorrência de sobre tensões e /ou baixos níveis de fator de potência, já que neste programa o monitoramento destes parâmetros elétricos no ponto de conexão não é realizado. Outra questão crítica é quando deve haver a intervenção de eletricistas e técnicos na rede onde estão conectados estes acessantes de geração. Existe a necessidade de se redobrar a atenção, pois pode haver a possibilidade de energização acidental, ou energização em regime normal de funcionamento sem que a auto desconexão atue.

Numa visão geral, aponta-se que as maiores dificuldades encontradas para a implantação da GD, que impedem sua disseminação no sistema elétrico brasileiro, são:

- O modelamento no sistema de compra e venda de energia da CCEE;

- As licenças ambientais solicitadas;
- O atendimento dos critérios técnicos exigidos pelas concessionárias;
- A ausência de uma regulação técnica específica e mais detalhada;
- O elevado custo de equipamentos e mão de obra especializada;
- A inexistência de uma regulação que atenda a conexão de Baixa Tensão.

Do ponto de vista da concessionária de distribuição, a Geração Distribuída causa mais transtorno do que benefícios, cujo negócio é o pedágio para passagem de energia. De qualquer forma, sente-se a ausência de normatização mais detalhada por parte do órgão regulador.

Os Procedimentos de Distribuição vêm de encontro a uma necessidade da concessionária para atendimento dos pontos da inter-relação com o gerador distribuído. Porém estes são apenas um primeiro passo no sentido de regulação para conexão de GD, principalmente de BT. Ainda está longe de ser um documento que dá suporte para os estudos elétricos de conexão.

Por fim, observa-se que a pesquisa bibliográfica é condizente com o estudo prático, através do contato com as empresas de energia. O único ponto não abordado na pesquisa bibliográfica é a dificuldade em se acertar os interesses entre acessante e concessionária, sendo este fator primordial para o bom andamento da instalação e operação do empreendimento.

8. CONCLUSÕES

Com a realização desta pesquisa pode-se afirmar que a Geração Distribuída ainda não tem uma participação efetiva no cenário elétrico brasileiro, nem mesmo sua definição é clara e consolidada pelas diversas entidades envolvidas com o tema, conforme apresentado neste trabalho, pois diversas instituições conceituam o termo de formas diferentes, o que gera dúvidas quanto à forma e local de conexão, ao tipo de fonte, e à potência dos geradores. Tais critérios já foram estabelecidos pela conceituação apresentada nos Procedimentos de Distribuição-PRODIST, mas aparentemente se demonstra modesta ou nenhuma divulgação sobre o assunto.

Através de pesquisas, seminários e outros eventos abordando a GD, observa-se que muitas vezes esta é tratada de maneira simplista, e não são discutidas as limitações que precisam ser superadas para o seu estabelecimento. Percebe-se, então, falta de interesse por parte dos responsáveis pelo setor.

Todavia, ponderando as contribuições que a GD pode trazer e seu grande potencial de aplicabilidade, este trabalho buscou esclarecer através de um levantamento de parâmetros vinculados a sua disseminação o motivo pelo qual esta geração ainda não se desenvolveu no Brasil.

Através da pesquisa bibliográfica, pôde-se concluir que os fatores responsáveis por essa situação são as dificuldades na conquista de espaço no mercado de energia elétrica pelas tecnologias emergentes usadas como GD, à complexidade de adaptação da estrutura convencional das redes de distribuição e do sistema elétrico como um todo para receber unidades de geração na distribuição, a falta de um cronograma legislativo adequado para a implantação dos geradores, interesses políticos contrários, e principalmente a inexistência de um mecanismo de incentivo com o propósito de estabelecer a GD no setor elétrico brasileiro.

Essas informações foram comprovadas através do estudo prático com roteiros de perguntas respondidos pelas empresas de energia AES Eletropaulo, COPEL e Itaipu Binacional. Confirmou-se que o investimento inicial do empreendimento precisa de mecanismos de financiamento, devido ao elevado preço das tecnologias de GD, como é o caso da participação da FINEP na aquisição dos equipamentos no Programa de Geração Distribuído de Saneamento Ambiental; e a energia gerada precisa de incentivos para se tornar competitiva no mercado de energia elétrica, como faz a COPEL que compra os excedentes gerados sem maiores interesses financeiros. Neste caso, poderia haver benefícios à concessionária que investisse em GD.

Para ambos os casos tratados no estudo prático, usinas a biogás conectadas às instalações da AES Eletropaulo e às instalações da COPEL, percebe-se que as questões técnicas têm condições de serem superadas a partir das bases de pesquisas acadêmicas e de estudos direcionados a cada caso de implantação de GD. Já o quadro de regulamentação no Brasil, para essas concessionárias de distribuição, deixa a desejar quanto ao estabelecimento de regras de instalação e operação da GD, assim como o estabelecimento de políticas de incentivo, o que traz empecilhos a sua disseminação, e pode torná-la desfavorável ao desempenho adequado do sistema elétrico.

Observa-se que a implantação das usinas em questão tem grande valor do ponto de vista ambiental, pois faz uso de um combustível renovável, o biogás, proveniente da decomposição de dejetos orgânicos, seja de efluentes de empreendimentos agrícolas ou de aterros sanitários, que seria lançado diretamente à atmosfera ou através da sua queima sem seu aproveitamento energético.

É válido ressaltar a importância desses empreendimentos, no entanto, nos conceitos da economia atual, contextualizados no elevado padrão de produção e consumo, tais iniciativas ambientais são possíveis e interessantes somente porque existe o retorno financeiro com a venda de créditos pela não emissão de gases de efeito estufa, de acordo com o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo do protocolo de Kyoto. Observa-se, assim, que medidas ecológicas estão surgindo como um meio de amenizar a degradação ambiental, porém estas ainda estão fixadas ao padrão de comportamento humano dentro dessa visão econômica.

Desta forma, essas medidas não alcançarão resultados efetivos enquanto não ocorrerem mudanças no padrão de pensamento da sociedade, ou até mesmo uma evolução nos valores desta.

A dificuldade de mudança parece estar intrínseca ao ser humano, pois as maiores dificuldades apresentadas ao estabelecimento da GD são decorrentes, sobretudo, da prática do atual modelo centralizado do setor elétrico e de uma visão conservadora do sistema, ou seja, da dificuldade de se criar um novo paradigma. Cabe citar que a inserção da Geração Distribuída no cenário elétrico brasileiro não tem a pretensão de substituir a geração centralizada, e sim contribuir no atendimento à demanda, com qualidade no fornecimento da energia.

Entretanto, o incentivo à GD não deve ser avaliado apenas como uma forma de se aumentar a capacidade de fornecimento de energia, pois a busca incessante pela expansão econômica demonstrada por interesses governamentais, induzindo cada vez mais o consumo, não é uma política sustentável. O desenvolvimento da GD deve buscar benefícios como reduzir a dependência de uma única fonte de energia, melhorar o aproveitamento de recursos naturais distribuídos contribuindo para o desenvolvimento regional, e aumentar a participação de fontes renováveis e limpas na matriz elétrica.

Mesmo assim, os benefícios sociais e ambientais associados à Geração Distribuída não vêm substituir a responsabilidade da população quanto aos cuidados ao meio ambiente e uso eficiente da energia. É imprescindível que haja consciência e comportamento diferenciado por parte de todos os segmentos da sociedade para impedir ou pelo menos tentar reduzir os impactos à natureza.

Por fim, tem-se que muitos grupos de pesquisas e empresas vêm realizando pesquisas isoladas em pontos importantes da implantação da GD, e se houvesse uma integração desses trabalhos se conquistaria uma contribuição relevante para o estabelecimento

o dessa geração no setor elétrico brasileiro. Portanto, há a necessidade de se criar um programa único de estudo e gerenciamento do governo para agregar de forma responsável todos os aspectos envolvidos na instalação, compra, venda e operação de fontes de GD, que contribua com um desenvolvimento sustentável e de responsabilidade para o país.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, LÍSIAS VIEIRA LIMA DE. Análise do desempenho dinâmico de geradores síncronos conectados em rede de distribuição de energia elétrica. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, jun. 2005.

ABREU, YOLANDA VIEIRA DE. A reestruturação do setor elétrico brasileiro: questões e perspectivas. Dissertação de Mestrado. Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

ACKERMANN, THOMAS; ANDERSON, GÖRAN; SÖDER, LENNART. *Distributed Generation: A Definition*. Electric Power Systems Research, vol. 57, pag. 195-204. 2001.

ANDRADE, MOACYR TRINDADE DE OLIVEIRA. Geração distribuída – PCHs: aspectos técnicos e ambientais. 4º Congresso Latino-americano e do Caribe de Gás e Eletricidade – LACGEC. Rio de Janeiro, 26 a 28 abr. 2004. Disponível em:
[<http://biblioteca.iapq.org.ar/iapq/ArchivosAdjuntos/Lacgec2004/Trabajos%20t%C3%A1cnicos/Trabajo%209.pdf>](http://biblioteca.iapq.org.ar/iapq/ArchivosAdjuntos/Lacgec2004/Trabajos%20t%C3%A1cnicos/Trabajo%209.pdf).

ANDRADE, WALTENCIR DOS SANTOS. Avaliação da confiabilidade de sistemas de distribuição e sub-transmissão considerando geração distribuída. Tese de Douto-

rado em Ciências em Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, out. 2007.

AES ELETROPAULO - ELETROPAULO METROPOLITANA. Conexão de geradores.

Disponível

em:<http://www.eletropaulo.com.br/portal/page.cfm?conteudo_id=761&origem_link=busca&desc=Geradores>.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução nº 687, de 24 de novembro de 2015. Disponível em: <<http://biblioteca.aneel.gov.br/index.html>>.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa nº. 21, de 21 de janeiro de 2000.

Disponível em:<<http://www.aneel.gov.br/cedoc/RES2000021.PDF>>.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa nº.505, de 26 de novembro de 2001.

Disponível em:<<http://www.aneel.gov.br/cedoc/bres2001505.pdf>>.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução nº 652, de 9 de dezembro de 2003a. Disponível em:
<<http://www.aneel.gov.br/cedoc/res2003652.pdf>>..

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Relatório: Publicação de informações necessárias à gestão da Conta de Desenvolvimento Energético – CDE. Brasília, 24 de novembro de 2003.

Disponível em:<<http://www.aneel.gov.br/cedoc/adsp2003921.pdf>>.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa nº.77, de 18 de agosto de 2004.

Disponível em:<<http://www.aneel.gov.br/cedoc/bren2004077.pdf>>.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa nº 117, de 3 de dezembro de 2004.

Disponível em:<<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2004117.pdf>>.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Atlas de Energia Elétrica do Brasil. Segunda edição. Brasília, 2005a.

Disponível em:<http://www3.aneel.gov.br/atlas/atlas_2edicao/download.htm>.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. NODAL – Simulação de Tarifas de Uso do Sistema Elétrico – v3.4: Manual do Usuário. Jun. 2005b.

Disponível
em:<http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/leitura_arquivo/arquivos/Manual_Nodal_V34.pdf>

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa nº. 157, de 9 de maio de 2005.

Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2005157.pdf>>.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa nº. 167, de 10 de outubro de 2005.

Disponível em:<<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2005167.pdf>>.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa nº. 228, de 25 de julho de 2006a.

Disponível em:<<http://www.aneel.gov.br/cedoc/bren2006228.pdf>>.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa nº. 235, de 14 de novembro de 2006b.

Disponível em:<<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2006235.pdf>>.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa nº. 247, de 21 de dezembro de 2006c.

Disponível em:<<http://www.aneel.gov.br/cedoc/bren2006247.pdf>>.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa nº. 271, de 3 de julho de 2007.

Disponível em:<<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2007271.pdf>>.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa nº. 284, de 16 de outubro de 2007.

Disponível em:<<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2007284.pdf>>.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa nº. 293, de 4 de dezembro de 2007.

Disponível em:<<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2007293.pdf>>..

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Atlas de Energia Elétrica do Brasil. Terceira edição. Brasília, 2008a.

Disponível em:<<http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas3ed.pdf>>.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional - PRODIST. Aprovação em 16 dez 2008, pela Resolução Normativa nº 345 / 2008b. Disponível em:

<<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=82&idPerfil=2>>.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa nº. 345, de 16 de dezembro de 2008.

Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2008345.pdf>>.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Autorizativa nº. 1.482, de 29 de julho de 2008d.

Disponível em:<<http://www.aneel.gov.br/cedoc/rea20081482.pdf>>.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Banco de Informações de Geração –BIG.

Disponível em:<<http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=15&idPerfil=2>>.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa nº. 349, de 13 de janeiro de 2009.

Disponível em:<<http://www.aneel.gov.br/cedoc/ren2009349.pdf>>.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Autorizativa nº. 1.900, de 5 de maio de 2009c.

Disponível em:<<http://www.aneel.gov.br/cedoc/rea20091900.pdf>>.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Informações Técnicas:

PCHs. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/68.htm>>.

BENEDITO, RICARDO DA SILVA. Caracterização da geração distribuída de eletricidade por meio de sistemas fotovoltaicos conectados à rede, no Brasil, sob os aspectos técnico, econômico e regulatório. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Energia. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

BIODIESEL. Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel - PNPB. Disponível em:<<http://www.biodiesel.gov.br/programa.html>>.

BLEY, CÍCERO. Geração elétrica a partir do biogás com saneamento ambiental: a experiência da Itaipu Binacional. I Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos de Animais - Geração de Energia a partir de Resíduos de Animais. Florianópolis, 11 a 13 mar. 2009.

BONA, FELIPE SAMUEL DE; RUPPERT FILHO, ERNESTO. As microturbinas e a geração distribuída. Congresso Internacional sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural – AGRENER GD. Campinas, 19 e 20 out. 2004. Disponível em:

<<http://www.demic.fee.unicamp.br/~siqueira/IE327/Trabalho%2053.pdf>>.

BORGES, CARMEN L.T.; MACHADO JUNIOR, ZULMAR S.; FALCÃO, DJALMA M.

Influência da alocação ótima de dispositivos de proteção e de geração distribuída na confiabilidade do sistema. XVII SNPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Uberlândia, out. 2003.

BORGES, CARMEN L.T.; FALCÃO, DJALMA M.; MACHADO JUNIOR, ZULMAR S.;

MANZONI, ALESSANDRO. Análise do Impacto da Localização e Dimensão da Geração Distribuída na Confiabilidade, Perdas Elétricas e Perfil de Tensão de Redes de Distribuição. II CINETEL – Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica. 2003.

BRASIL. Decreto nº. 2.003, de 10 de setembro de 1996. Disponível em:<<http://www.aneel.gov.br/cedoc/bdec19962003.pdf>>.

BRASIL. Lei nº. 10.438, de 26 de abril de 2002. Disponível em:<<http://www.aneel.gov.br/cedoc/lei200210438.pdf>>.

BRASIL. Lei nº. 10.762, de 11 de novembro de 2003. Disponível em:<<http://www.aneel.gov.br/cedoc/blei200310762.pdf>>.

BRASIL. Decreto nº. 5.163, de 30 de julho de 2004a. Disponível em:<<http://www.aneel.gov.br/cedoc/dec20045163.pdf>>

BRASIL. Lei nº. 10.848, de 15 de março de 2004b. Disponível em:<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Lei/L10.848.htm>.

BRASIL. Lei nº. 11.075, de 30 de dezembro de 2004c. Disponível em:<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2004/Lei/L11075.htm>.

BRASIL. Lei nº. 11.488, de 15 de junho de 2007a. Disponível em:<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11488.htm>.

BRASIL - DIÁRIO DA CÂMARA DOS DEPUTADOS. Projeto de Lei nº 1.563, de 2007b.

Disponível em:
<http://www.camara.gov.br/sileg/Prop_Detalhe.asp?id=359372>.

BRASIL. Portaria nº 36, de 26 de novembro de 2008. Diário Oficial da União, 28 nov. 2008 - Seção 2, Número: 232, Página: 56. Disponível em:<http://portal.in.gov.br/in/pesquisa_avancada>

BRASIL. Lei nº 11.943, de 28 de maio de 2009. Diário Oficial da União, 29 maio 2009 - Seção 1, Número: 101, Página: 1. Disponível em:<http://portal.in.gov.br/in/pesquisa_avancada>.

BRIGHENTI, CLAUDIA RODRIGUES FARIA. Integração do cogerador de energia do setor sucroalcoleiro com o sistema elétrico. Dissertação de Mestrado. Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

CAMARGO, C. CELSO DE BRASIL. Gerenciamento pelo lado da demanda: metodologia para identificação do potencial de conservação de energia elétrica de consumidores residenciais. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1996.

CAMPITELLI, EDUARDO MORETI. Análises e estudos para alocação e ajustes de dispositivos de proteção em redes de média tensão de energia elétrica com geração distribuída. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”. Ilha Solteira, jul. 2007.

CAMPITELLI, EDUARDO MORETI; PEREIRA, RODRIGO A.F.; SILVA, LUIS GUSTAVO W. DA; MANTOVANI, JOSÉ ROBERTO S. Sistema inteligente para ajuste dos dispositivos de proteção em sistemas de distribuição com geração distribuída. XIX SNPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Rio de Janeiro, out. 2007.

CATAPAN, D; CATAPAN, E. Aspectos técnicos e operacionais sobre a geração de energia elétrica a partir de dejetos suínos. I Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos de Animais - Geração de Energia a partir de Resíduos de Animais. Florianópolis, 11 a 13 mar. 2009.

CELLI, G.; GHIANI, E.; MOCCI, S.; PILO, F. *A Multi-objective Formulation for the Optimal Sizing and Siting of Embedded Generation in Distribution Networks*. IEEE Bologna PowerTech Conference. Bologna, Italy, jun. 2003.

CELPE - COMPANHIA ENERGÉTICA DE PERNAMBUCO. Norma: Paralelismo

Momentâneo de Gerador com o Sistema de Distribuição, com Operação em Rampa. 4^a Edição. 13 ago. 2007. Disponível em:

<http://www.celpe.com.br/ARQUIVOS_EXTERNOS/Sm01.00-00.007%20Gerador%20em%20Rampa%204a%20Edi%C3%A7%C3%A3o;110109;200_80520.pdf>.

CIGRÉ BRASIL. A História do Cigré no Brasil – 35 anos. Edição Cigré-Brasil. Rio de Janeiro, 2006. ISBN 85-887-4220-9.

CIRED - INTERNATIONAL CONFERENCE & EXHIBITION ON ELECTRICITY

DISTRIBUTION. Working Group No 4 on Dispersed Generation. Preliminary Report for Discussion at CIRED. Nice, jun 1999. Disponível em:

<<http://www.cired.be/WG04-Report%20.pdf>>.

COGENRIO - ASSOCIAÇÃO FLUMINENSE DE COGERAÇÃO DE ENERGIA. O Que é Geração Distribuída. Disponível em:

<<http://www.cogenrio.com.br/Prod/OQueEGeracaoDistribuida.aspx>>.

COPEL - COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA. Programa de geração distribuída com saneamento ambiental. Publicado em 24 mar. 2009. Disponível em:

<[http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/geracao_distribuida-17.02.09/\\$FILE/geracao_distribuida-17.02.09.pdf](http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/geracao_distribuida-17.02.09/$FILE/geracao_distribuida-17.02.09.pdf)>.

CORRÊA, DIOGO SALLES. Metodologias para análise do risco de ocorrência de falhamentos não intencionais de geradores síncronos distribuídos. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, jun. 2008.

CORRÊA NETO, VICENTE. Análise de viabilidade da cogeração de energia elétrica em ciclo combinado com gaseificação de biomassa de cana-de-açúcar e gás natural. Dissertação de Mestrado em Ciências em Planejamento Energético. Programas de Pós- Graduação de Engenharia. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, mar. 2001.

LIMA, DELBERIS ARAÚJO; PADILHA-FELTRIN, ANTONIO. Estudo comparativo dos métodos nodal e ZBUS para alocação de custos pelo uso do sistema de transmissão. Revista Controle & Automação. Vol.19, nº.2. Abr., maio e jun. 2008.

DENIS, IARA FERNANDA EHRENBERG DOSSI. Métodos de Alocação de Perdas em Sistemas de Distribuição com Geradores Distribuídos. Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”. Ilha Solteira, dez. 2003.

DUGAN, ROGER C.; MCDERMOTT, THOMAS E.; BALL, GREG J. *Planning for distributed generation*. IEEE Industry Applications Magazine. Mar. Apr, 2001.

EIA - ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. *Annual Energy Outlook 2008 With Projections to 2030*. Washington, DC - EUA. 06/2008. Disponível em:

<www.eia.doe.gov/oiaf/aeo/>.

ELETROBRÁS. Conta de Desenvolvimento Energético (CDE).

Disponível em:

<<http://www.eletrobras.gov.br/ELB/data/Pages/LUMISB29596DDPTBRIE.htm>>.

Centrais Elétricas Brasileiras S.A. – ELETROBRÁS. Conta de Consumo de Combustíveis (CCC).

Disponível

em:<<http://www.eletrobras.gov.br/ELB/data/Pages/LUMISBDD9AB86PTBRIE.htm>>.

ENEDIS - ENERGIA DISTRIBUÍDA. O que é Energia Distribuída. Disponível em:
<http://www.enedis.com.ar/Global/SetLanguageCookie/Wc8d50d71a56e8.html>.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço Energético Nacional 2008: Ano base 2007. Rio de Janeiro, 2008a. Disponível em:<https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2008.pdf>.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Considerações sobre repotenciação e modernização de usinas hidrelétricas. Nota Técnica Den 03/08. Série Recursos Energéticos. Rio de Janeiro, jun. 2008b.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço Energético Nacional 2009 – Ano base 2008: Resultados Preliminares. Rio de Janeiro, 2009. Disponível em:<https://ben.epe.gov.br/downloads/Resultados_Pre_BEN_2009.pdf>.

FORTES, MÁRCIO ZAMBOTI. Priorização de alternativas de geração termelétrica distribuída. Tese de Doutorado. Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

FREITAS, WALMIR; VIEIRA JUNIOR, JOSÉ CARLOS DE MELO; FRANÇA, ANDRÉ MORELATO; SILVA, LUIZ CARLOS P. DA; E COSTA, VIVALDO F. DA. Análise comparativa entre geradores síncronos e geradores de indução com rotor tipo gaiola de esquilo para aplicação em geração distribuída. Revista Controle & Automação - Vol.16 nº 3 – jul., ago. e set. 2005.

FREITAS, WALMIR; VIEIRA JUNIOR, JOSÉ CARLOS DE MELO; SILVA, LUIZ CARLOS P. DA; FRANÇA, ANDRÉ MORELATO; AFFONSO. CAROLINA M.;

AZEVEDO, VERA L. A. Impacto de geração distribuída no afundamento de tensão em redes de distribuição de energia elétrica devido às faltas desbalanceadas. VI SBQEE – Seminário Brasileiro sobre Qualidade da Energia Elétrica. Belém - PA, ago. 2005.

GALLARDO, JESÚS ARMANDO MORÁN. Impacto de geradores síncronos no desempenho de regime permanente de sistemas de distribuição de energia elétrica. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, jun. 2005.

GOMES, PAULO.; SCHILLING, M. Th.; LIMA, J. W. MARANGON; MARTINS, NELSON. Geração Distribuída: Vantagens, Problemas e Perspectivas. XV Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Grupo VII: Planejamento de Sistemas Elétricos (GPL/09). Foz do Iguaçu, 1999.

GOMES, PAULO.; SCHILLING, M. Th.; LIMA, J. W. MARANGON; MARTINS, NELSON. Considerações sobre a utilização crescente da geração distribuída no atendimento ao crescimento de mercado. VII SEPOPE - Simpósio de Especialistas em Planejamento da Operação e Expansão Elétrica. Curitiba, 2000. Disponível em:<<http://www.nelsonmartins.com/pdf/publications/conference/SP-069.pdf>>.

GONÇALVES, LUIZ FERNANDO. Contribuição para o estudo teórico e experimental de sistemas de geração distribuída. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004.

GUEDES, LARISSA DE MATOS. Localização e dimensionamento de unidades de geração distribuída em redes de distribuição radiais. Dissertação de Mestrado em

Engenharia Elétrica. Faculdade de Tecnologia. Universidade de Brasília. Brasília, ago. 2006.

GTES - GRUPO DE TRABALHO DE ENERGIA SOLAR; CEPEL - CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA. CRESESB - CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO. Manual de

Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Edição Especial, PRC-PRODEEM. Rio de Janeiro, ago. 2004.

HINRICHES, ROGER A.; MERLIN, KLEINBACH. Energia e Meio Ambiente. Tradução da 3a edição norte-americana. Editora Thomson. São Paulo, 2003.

INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA – INEE. Distribuída e Cogeração. Disponível em: <http://www.inee.org.br/forum_ger_distrib.asp>.

KAGAN, N.; OLIVEIRA, C. C. B.; GUARALDO, J. C.; BENEDIK, C. R.; CONCEIÇÃO,

A. Avaliação Técnico-Econômica da Viabilidade de Projetos de Geração Distribuída. II CINETEL – Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica. 2003.

LIMA, JORGE. Energias Alternativas Renováveis: Eólica, Biomassa, PCH e Solar. Fórum Abinne Tec. São Paulo, 2 jun 2009. Disponível em:

<<http://www.tec.abinee.org.br/arquivos/s12.pdf>>. Acessado em: 30 jun. 2009.

LORA, ELECTO EDUARDO SILVA; HADDAD, JAMIL (Coord.). Geração Distribuída Aspectos Tecnológicos, Ambientais e Institucionais. Editora Interciência. Rio de Janeiro, 2006.

LUCON, OSWALDO; GOLDEMBERG, JOSÉ. Crise financeira, energia e sustentabilidade no Brasil. Estudos Avançados, vol.23, nº. 65. São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v23n65/a09v2365.pdf>>.

MARQUES, FREDERICO A. S.; GALLARDO, JESÚS ARMANDO MORÁN; ABREU, LÍSIAS; SILVA, LUIZ CARLOS P. DA; FREITAS, WALMIR. Impactos da expansão da geração distribuída nos sistemas de distribuição de energia elétrica. Disponível em:

<<http://www.demic.fee.unicamp.br/~siqueira/IE327/Trabalho%2079.pdf>>,

MATZ, MARCELLO; SZKLO, ALEXANDRE. Problemas no Financiamento de Geração Distribuída de Energia Elétrica a partir de Fontes Renováveis. I Jornada Científica AB3E. Rio de Janeiro, abr 2007. Disponível em:

<<http://www.ibp.org.br/main.asp?ViewID=%7B4DA1F40A%2DBCF7%2D4E2E%2DB81A%2DA68669C367DC%7D¶ms=itemID=%7B46A215A4%2DE903%2D4245%2D8C09%2D6E2F1FD4295C%7D;&UIPartUID=%7B580177CE%2D7747%2D438>>

[3%2D94A3%2D1A55A4C460C2%7D> .](#)

MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Desafios Sócio-Ambientais Construção
de Estratégias de Gestão.

Disponível em:

<<http://www.cpce.unb.br/unbtv/apresentacaoGestaoAmbientaleSetorEletrico2008.ppt#1>

MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Programa de Incentivo as Fontes
Alternativas de Energia – PROINFA.

Disponível em:

<<http://www.mme.gov.br/programas/proinfa>>.

MONTICELLI, ALCIR; GARCIA, ARIOMALDO. Introdução a sistemas de energia
elétrica. Coleção Livro-Texto. Editora da Unicamp – Campinas. Imprensa Oficial –
São Paulo. 2000. ISBN 85-268-0487-1.

MUELLER, CHARLES C. Avaliação de duas correntes da economia ambiental: a escola
neoclássica e a economia da sobrevivência. Revista de Economia Política, vol. 18,
nº. 2. Abr./jun. 1998.

OCHOA-PIZZALI, LUIS FERNANDO. Desempenho de redes de distribuição com
geradores distribuídos. Tese de doutorado. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira.
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Ilha Solteira, 2006.

OCHOA, L. F.; OLIVEIRA, M. E; PADILHA-FELTRIN, A. Alocação de perdas em

sistemas de distribuição com geração distribuída.

Disponível em:

<http://www.dee.feis.unesp.br/lapsee/papers/CBA06_Perdas_GenDistr_Ochoa.pdf>..

OLIVEIRA, Sergio Henrique Ferreira. Geração Distribuída de Eletricidade: Inserção de Edificações Fotovoltaicas Conectadas à rede no Estado de São Paulo. Tese de Doutorado. Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.

OLIVEIRA, M. E.; OCHOA, L. F.; PADILHA-FELTRIN, A. *Network Reconfiguration and Loss Allocation for Distribution Systems with Distributed Generation*. 2004 IEEE/PES Transmission & Distribution Conference & Exposition: Latin America.

OLIVEIRA, M. E; OCHOA, L. F.; PADILHA-FELTRIN, A.; MANTOVANI, J. R. S.

Alocação de perdas em redes de distribuição de energia elétrica com livre acesso de terceiros. XVI Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica. SENDI, 2004.

ONS - OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. Nota Técnica – Orientação para a Simulação de Tarifas de Uso do Sistema de Transmissão. Out. 2005. Disponível em:<

http://www.ons.org.br/download/administracao_transmissao/simulacao_tarifas/NT_Ori_e_ntacao_Simulacao_Tarifas.pdf>.

ONS - OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. Mapas do SIN. Disponível

em: <http://www.ons.com.br/conheca_sistema/mapas_sin.aspx#>.

ONS - OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. Procedimentos de Rede -

Submódulo 3.6: Requisitos técnicos mínimos para a conexão à rede básica. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/procedimentos/index.aspx>>.

PÁDUA, MARCELO SUZART DE. Técnicas digitais para sincronização com a rede elétrica, com aplicação em geração distribuída. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, nov. 2006.

PAIVA, RODRIGO RODRIGUES DA CUNHA. Fluxo de Potência Ótimo em Redes de Distribuição de Energia com a Presença de Geração Distribuída: Um Novo Algoritmo para Auxiliar a Análise do Perfil de Tensão. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, set. 2006.

PENTEADO, HUGO. Ecoeconomia: uma nova abordagem. 2ª Edição. Lazuli Editora. São Paulo, 2008.

PERFECTUM – SERVIÇOS DE ENGENHARIA. Chaves de transferência automáticas - Sistemas de Baixa Tensão. Disponível em: <<http://www.perfectum.eng.br/ATS.html>>.

PLATAFORMA ITAIPU DE ENERGIAS RENOVÁVEIS. Biomassa. Disponível em:

<http://www.plataformaitaipu.org/projetos/36?filtro_tipo_energia=36>.

PORTAL PCH. O que é uma PCH. Disponível em:

<http://www.portalpch.com.br/index.php?option=com_content&task=view&id=702>.

RDC - RESOURCE DYNAMICS CORPORATION. *Assessment of Distributed Generation Technology Applications*. Vienna – EUA, fev 2001. Disponível em:

<<http://www.distributed-generation.com/library.htm>>.

RIBEIRO, PAULO; FERREIRA, FLÁVIA; e MEDEIROS, FÁBIO. Geração distribuída e impacto na qualidade de energia. Tópico: Qualidade da Energia em Sistemas com Geração Distribuída. VI SBQEE - Seminário Brasileiro Sobre Qualidade da Energia Elétrica. Belém – PA, 21 a 24 ago. 2005.

RODRIGUES, FLÁVIA F. C.; BORGES, CARMEM L. T; FALCÃO, DJALMA M.

Programação da Contratação de Energia Considerando Geração Distribuída e Incertezas na Previsão de Demanda. Revista Controle & Automação. Vol.18, nº. 3. jul., ago. e set. 2007.

RODRÍGUEZ, CARLOS ROBERTO CERVANTES. Mecanismos Regulatórios, Tarifários e Econômicos na Geração Distribuída: o Caso dos Sistemas Fotovoltaicos Connectados à Rede. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia Mecânica. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2002.

ROMAGNOLI, HENRIQUE CESAR. Identificação de barreiras à geração distribuída no marco regulatório atual do setor elétrico brasileiro. Dissertação de Mestrado pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Elétrica à Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

SENNE, E. F.; SCARASSATI, P. C.; SILVEIRA, P. M.; MOHALLEM, C. A. G. Conexão de geradores com o sistema elétrico de distribuição. Primeras Jornadas Regionales de Calidad de Energia. Uruguay, set. 2006.

SHAYANI, RAFAEL AMARAL; OLIVEIRA, MARCO AURÉLIO GONÇALVES DE;CAMARGO, IVAN MARQUES DE TOLEDO. Comparação do Custo entre Energia Solar Fotovoltaica e Fontes Convencionais. V CBPE – Congresso Brasileiro de Planejamento Energético. Brasília, maio – jun. 2006.

SILVA, JAMEA CRISTINA BATISTA. Otimização de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica Utilizando Geração Distribuída. Tese de doutorado. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétrica. Escola Politécnica. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.

SILVA, J. C. B.; CAMARGO, J. C.; BRITTES, J. L. P.; SILVA, E. P. DA; CANTÃO, M. P.; IMPINNISI, P. R.; GARCIA, F. R.; PAULILLO, G.; SILVA, A. J. Implantação de Sistemas de Geração Distribuída Junto à Rede de Distribuição. II Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica - CITENEL. 2003.

SILVA FILHO, ARMANDO. Análise regulatória das condições de interconexão da geração distribuída: requisitos para os procedimentos de distribuição. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Energia. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, 2005.

SOUZA, BENEMAR ALENCAR DE; BRAZ, HELON DAVID DE MACEDO; ALBUQUERQUE, JOÃO MARCELO CAVALCANTE DE; GUTTERRES, JULIO GUILHERME GERLACH. Fluxo de Carga em Sistemas de Distribuição Radiais com Geração Distribuída: Método da Soma de Potência Modificado. Latin America Transactions, IEEE. Volume 4. Maio 2006.

VIEIRA JÚNIOR, JOSÉ CARLOS DE MELO; FREITAS, WALMIR; FRANÇA, ANDRÉ L. MORELATO. Análise comparativa sobre a eficácia de relés baseados em medidas de frequência para detecção de ilhamento de geradores distribuídos. Sba: Controle & Automação Sociedade Brasileira de Automatica. Vol.16 no.2. Campinas, abr. e jun. 2005.

VIEIRA JÚNIOR, JOSÉ CARLOS DE MELO. Metodologias para ajuste e avaliação do desempenho de relés de proteção anti-ilhamento de geradores síncronos distribuí-

dos. Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, mar. 2006.

VIEIRA JÚNIOR, JOSÉ CARLOS DE MELO. Impacto da Geração Distribuída no Perfil de Tensão de Regime Permanente de Redes de Distribuição de Energia Elétrica. Laboratório de Sistemas de Energia Elétrica - LSEE. Disponível em:

<http://143.107.235.69/index.php?option=com_content&view=article&id=17:impacto-da-geracao-distribuida-no-perfil-de-tensao-de-regime-permanente-de-redes-de-distribuicao-de-energia-eletrica&catid=9:geracao-distribuida-&Itemid=16>.

VS5 COMERCIALIZADORA DE ENERGIA. O Setor Elétrico Brasileiro. Disponível em:

<<http://www.vs5energia.com.br/setoreletrico.htm>>. Acessado em: 7 jul. 2009.

ZILLES, ROBERTO; MACÊDO, WILSON NEGRÃO. Contribuição Energética de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede de Baixa Tensão. I Congresso Brasileiro de Energia Solar. Associação Brasileira de Energia Solar. Fortaleza, abr. 2007