

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA E AMBIENTE

NIERBETH COSTA BRITO

**MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA NAS REDES
ELÉTRICAS DA CEMAR: IMPACTOS E
PERSPECTIVAS**

São Luís
2014

NIERBETH COSTA BRITO

**MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA NAS REDES
ELÉTRICAS DA CEMAR: IMPACTOS E
PERSPECTIVAS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia e Ambiente da Universidade Federal do Maranhão como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Energia e Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Cícero Wellington Brito Bezerra

São Luís
2014

Brito, Nierbeth Costa

Microgeração distribuída nas redes elétricas da CEMAR: impactos e perspectivas / Nierbeth Costa Brito. – São Luís, 2014.

77 f.

Orientador: Cícero Wellington Brito Bezerra.

Dissertação (Mestrado em Energia e Ambiente) – Universidade Federal do Maranhão, 2014.

1. Microgeração distribuída 2. Fontes alternativas de energia 3. Distribuidoras de energia

CDU 621.311.11

NIERBETH COSTA BRITO

**MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA NAS REDES
ELÉTRICAS DA CEMAR: IMPACTOS E
PERSPECTIVAS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia e Ambiente da Universidade Federal do Maranhão como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Energia e Ambiente

Aprovada em: / /

BANCA EXAMINADORA

(orientador)
Universidade Federal do Maranhão

2º Examinador

3º Examinador

A Deus criador de tudo
e de todos.

AGRADECIMENTOS

A minha esposa Kenia pelo amor, paciência e cooperação.

A meu filho Nicolas pelos ensinamentos, alegria e carinho constante.

A meus pais, Nicomarques e Maria do Carmo pelo amor, carinho e a presença constante em minha vida

A toda minha família pelo apoio, incentivo e entusiasmo.

A Universidade Federal do Maranhão por ter me proporcionado os recursos e a estrutura necessária para esta Pós-graduação.

A todos da PPGEA, em especial a Adeilton e Mônica por toda a orientação e incentivo aos estudos.

A CEMAR por ter me proporcionado essa oportunidade de crescimento pessoal e profissional

Aos colegas de turma: Tavares, Afonso, Daniel, Raimundo Nonato, Inácio e Marcelo.

Ao meu Orientador pelo incentivo, esclarecimento de dúvidas e orientações que me fizeram prosseguir com essa dissertação.

“O avanço econômico não é a mesma coisa que progresso humano”

(John Clapham)

RESUMO

A Microgeração Distribuída tem aumentado a sua participação na matriz elétrica de diversos países do mundo principalmente devido a incentivos governamentais por utilizar fontes renováveis de energia com impacto direto na diminuição dos danos ambientais associados à produção de energia elétrica e por ser uma oportunidade de diversificar as fontes de geração de energia elétrica. Após a regulamentação do assunto pelo órgão regulador de energia elétrica nacional, há a expectativa da disseminação do uso da microgeração distribuída nas redes elétricas da CEMAR. Esta pesquisa propõe a identificação dos principais impactos da microgeração distribuída para as redes elétricas da CEMAR e suas perspectivas de forma a nortear a diretoria de distribuição da empresa sobre a sua forma de atuação neste tema. A pesquisa orienta-se no estudo geral sobre o tema, a legislação vigente, as normas aplicáveis e as principais fontes de energia utilizadas na geração e principalmente nos impactos do amplo uso desta tecnologia nas redes elétricas da CEMAR. Observou-se a necessidade de prepararmos a empresa para esta nova forma de operação das redes com a presença da microgeração distribuída.

Palavras-chave: Microgeração Distribuída, Fontes Alternativas de Energia, Distribuidoras de Energia.

ABSTRACT

Distributed Microgeneration has increased its stake in electric participation in various countries of the world, mainly due to government incentives for using renewable energy sources with direct impact on reducing environment damage associated with the production of electricity and for being an opportunity to diversify the sources of electricity generation. After the regulation of the subject by the National Electricity Regulator, there is the expectation of the widespread use of distributed microgeneration in CEMAR electrical grids. This research proposes to identify the main impacts of distributed microgeneration to CEMAR electrical grids and its prospects in order to guide the Direction of distribution company on its way of working in this area. The research is guided in the general study of the subject, the current legislation, applicable regulations and the main sources of energy used in the generation and especially the impacts of the widespread use of this technology in CEMAR electrical grids. The need to prepare the company for this new form of grid operation in the presence of distributed microgeneration is very important.

Palavras-chave: Distributed Microgeneration, Alternative Energy Sources, Electricity Distribution Companies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama Básico da Resolução 482/2012 da ANEEL.....	24
Figura 2 - Matriz Energética Brasileira e Mundial.....	25
Figura 3 - Matriz Elétrica Brasileira e Mundial.....	26
Figura 4 - Curva característica de tensão e corrente de um painel fotovoltaico em diferentes temperaturas e incidências solares.....	29
Figura 5 - Gráfico da curva típica de potência com a variação da velocidade do vento de um Aerogerador.....	32
Figura 6 - Evolução da Capacidade Instalada e Energia Gerada pela Geração Distribuída de pequeno porte até 2022.....	33
Figura 7 - Ilha formada pela abertura de um disjuntor.....	39
Figura 8- Gráfico de curvas típicas de proteção de sobrecorrente temporizada....	46
Figura 9 - Forma de conexão do acessante através de inversor à rede de baixa tensão da CEMAR.....	49
Figura 10 - Forma de conexão do acessante sem utilização de inversor à rede de baixa tensão da CEMAR.....	50
Figura 11 - Modelo de placa de advertência da existência de microgeração distribuída.....	55
Figura 12 - Fluxo do atendimento comercial aos processos de microgeração distribuída.....	60
Figura 13 – Programação do 1º Workshop de <i>Smart Grid</i> da CEMAR.....	62
Figura 14 - Quantidade de Processos de Mini e Microgeração Distribuída abertos até Setembro 2013 no Brasil.....	65
Figura 15 - Conhecimento da população da proposta oficial de microgeração distribuída segundo pesquisa realizada pela Market Analysis.....	67
Figura 16 - Conhecimento sobre microgeração distribuída por Região.....	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Limite de distorção harmônica de corrente para os sistemas de microgeração distribuída segundo Norma Técnicas da CEMAR.....	37
Tabela 2 - Tempo de resposta às condições anormais de tensão na rede elétrica...	42
Tabela 3 - Forma de Conexão em Função da Potência.....	48
Tabela 4 - Requisitos de Proteção para os sistemas de Microgeração Distribuída...	51
Tabela 5 – Ajustes Recomendados das Proteções.....	52

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABRADEE	- Associação Brasileira das Distribuidoras de Energia Elétrica
ANEEL	- Agência Nacional de Energia Elétrica
BEN	- Balanço Energético Nacional
BNB	- Banco do Nordeste do Brasil
CEMAR	- Companhia Energética do Maranhão
CEMIG	- Companhia Energética de Minas Gerais
CEPEL	- Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
CONFAZ	- Conselho Nacional de Política Fazendária
COPEL	- Companhia Paranaense de Energia
DSV	- Dispositivo de Seccionamento Visível
EPE	- Empresa de Pesquisa Energética
FIEC	- Federação das Indústrias do Estado do Ceará
GD	- Geração Distribuída, do inglês Distributed Generation (DG)
GT-GD	- Grupo de Trabalho de Geração Distribuída
Hz	- Hertz
ICMS	- Imposto sobre Circulação de Mercadoria e Serviços
IGBTs	- “Insulated Gate Bipolar Transistor”
INMETRO	- Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
kW	- Kilowatt
MME	- Ministério de Minas e Energia
MW	- Megawatt
MWmed	- Megawatt médio
NT	- Norma Técnica
OCDE	- Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico
PCH	- Pequenas Centrais Hidrelétricas
PDE	- Plano Decenal de Expansão de Energia
PRODIST	- Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica
PWM	- “Pulse-Width Modulation”
P&D	- Pesquisa e Desenvolvimento
REI	- Redes Elétricas Inteligentes
SBA	- Sociedade Brasileira de Automática
SBSE	- Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos
SCADA	- “Supervisory Control and Data Acquisition”
SENDI	- Seminário Nacional das Distribuidoras de Energia Elétrica
SFCR	- Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede
TWh	- Tera Watt-hora
VA	- Volt-Ampere

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1. O Problema da Pesquisa.....	15
1.2. O Objetivo da Investigação.....	17
1.3. O Método de Trabalho.....	17
2. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA.....	19
2.1. Geração Distribuída e Redes Elétricas Inteligentes.....	20
2.2. Geração Distribuída e os Consumidores de Energia Elétrica.....	20
2.3. Geração Distribuída e as Distribuidoras de Energia Elétrica.....	21
2.4. A Regulamentação da Geração Distribuída no Brasil.....	22
2.5. Tecnologias de Geração Distribuída Utilizando Fontes Renováveis.....	25
2.5.1. Energia Solar Fotovoltaica.....	27
2.5.2. Energia Eólica.....	30
2.6. Participação da Geração Distribuída na Matriz Elétrica Brasileira: Situação Atual e Perspectivas Futuras.....	33
3. OS IMPACTOS DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NA QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA.....	34
3.1. Os impactos da Geração Distribuída na Qualidade de Energia.....	35
3.1.1. Harmônicos.....	36
3.1.2. Outros efeitos sobre o Nível de Tensão.....	37
3.2. Os efeitos da Proteção Anti-ilhamento na Proteção de Fornecimento.....	38
3.3. Como Minimizar o Impacto da Variação de Tensão Introduzida pela Geração Distribuída.....	41
4. OS IMPACTOS DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NA PROTEÇÃO DOS SISTEMAS ELÉTRICOS DAS DISTRIBUIDORAS DE ENERGIA.....	44
4.1. Proteção de Sistemas Elétricos.....	44
4.2. Proteção dos Alimentadores da CEMAR.....	45
4.3. Exigências da Norma Técnica da CEMAR quanto a Proteção.....	47
4.3.1. Forma de Conexão.....	47
4.3.2. Dispositivo de Seccionamento Visível.....	51
4.3.3. Requisitos de Proteção.....	51
4.3.4. Proteções Relacionadas a Frequência.....	53
4.3.5. Proteção contra Ilhamento.....	53

4.3.6.	Proteção contra Curto-Circuito.....	54
4.3.7.	Sinalização de Segurança.....	54
5.	MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA - ESTUDO DE CASO DA CEMAR:	
	ESTADO ATUAL E PERSPECTIVAS FUTURAS.....	56
5.1.	CEMAR e a Geração Distribuída.....	57
5.1.1.	Participação Ativa no Grupo de Trabalho de Geração Distribuída da ABRADDEE.....	57
5.1.2.	Norma Técnica da Microgeração Distribuída.....	58
5.1.3.	Procedimentos Operacionais.....	59
5.1.4.	Workshops Internos.....	61
5.1.5.	Participação em Eventos (Congressos e Workshops Externos).....	63
5.2.	Estado Atual de Projetos de Microgeração Distribuída na CEMAR.....	64
5.3.	Os Entraves para Implantação da Microgeração Distribuída.....	66
5.3.1.	Pouco Conhecimento da População sobre Geração Distribuída.....	67
5.3.2.	Linhas de Financiamento Limitadas para Investimentos em Geração Distribuída.....	69
5.3.3.	Incidência Tributária.....	70
5.4.	Iniciativas para Fomentar a Geração Distribuída.....	70
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	72
	REFERÊNCIAS	74

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Segundo REIS (2010), a energia desempenha um papel fundamental na vida humana. Ao lado de transportes, telecomunicações e águas e saneamento, a energia compõe a infraestrutura necessária para incorporar o ser humano ao modelo de desenvolvimento existente. Segundo HINRICHS *et al* (2011), entender a energia significa entender os recursos energéticos e suas limitações, bem como as consequências ambientais de sua utilização. Energia, meio ambiente e desenvolvimento econômico estão fortes e intimamente conectados.

Nesse sentido, este trabalho tem como foco o estudo da temática microgeração distribuída a partir de fontes alternativas e renováveis para abastecimento de pequenas cargas elétricas sob a perspectiva das distribuidoras de energia, mas especificamente a CEMAR, avaliando os seus impactos e perspectivas.

1.1 O problema da pesquisa

Os sistemas elétricos de potência foram concebidos e introduzidos no Brasil através do conceito de Geração Centralizada, ou seja, a geração realizada em grandes centrais produtoras de energia, transportada através de longas linhas de transmissão e distribuída até os consumidores finais através das redes elétricas das concessionárias de energia.

O objetivo dessa topologia era prover economia, segurança, confiabilidade e qualidade do suprimento, através de um despacho central (LUIZ, 2012). Esse tipo de arranjo é predominante até os dias atuais e, ao longo do tempo, sempre apresentou

vantagens em relação a outros arranjos principalmente no que diz respeito às eficiências econômica e elétrica.

Segundo FACURI (2004), na década de 80, a preocupação com o meio ambiente começou a ganhar força e requerer normas, leis e regulamentos que disciplinassem a construção de empreendimentos que produzissem impactos ambientais, seja no período da construção ou de operação.

O Advento da preocupação ambiental provocou o favorecimento de pequenas centrais produtoras de energia elétrica mais próxima dos consumidores finais, ou mesmo, dentro da mesma área física dos consumidores finais (NASCIMENTO, 2013). Estamos falando da Geração Distribuída (GD).

Neste contexto a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) regulamentou a microgeração distribuída no Brasil através da Resolução 482/2012 (ANEEL, 2012) com o intuito de reduzir as barreiras para instalação desse tipo de empreendimento no país.

Apesar de a Resolução ter sido publicada há dois anos, a quantidade de consumidores que aderiram ao sistema no Brasil é de um pouco mais de cem unidades, ou seja, um número insignificante comparando o quantitativo de clientes no Brasil que é de dezenas de milhões. Este número é mais insignificante ainda quando levamos em consideração o enorme potencial de geração de energia através de fontes renováveis de energia do Brasil, principalmente energia eólica e solar. Para uma melhor penetração social é necessário um plano de divulgação bem estruturado e disponibilização de fontes de financiamento.

Além disso, como afirma NASCIMENTO (2013), os sistemas elétricos de potência das distribuidoras de energia foram construídos e preparados para operar com uma única fonte de geração. Ou seja, há a necessidade de adaptar-se às novas necessidades e topologias de redes advindas da microgeração distribuída.

1.2 O Objetivo da Investigação

O objetivo geral deste trabalho é identificar os principais impactos da microgeração distribuída para as redes elétricas da CEMAR e suas perspectivas de forma a nortear a diretoria de distribuição da empresa sobre a sua forma de atuação neste tema. Para isso, são necessários os seguintes objetivos específicos:

- I. Fazer uma revisão bibliográfica sobre o tema microgeração distribuída e seus impactos sobre as distribuidoras de energia;
- II. Avaliar a Resolução da ANEEL que rege o assunto;
- III. Apresentar as principais fontes de energia utilizadas na microgeração distribuída;
- IV. Identificar os impactos da microgeração distribuída na qualidade e na proteção de energia elétrica distribuída aos consumidores;
- V. Descrever a Norma Técnica da CEMAR que regulamenta a conexão da microgeração distribuída;
- VI. Identificar o cenário atual da CEMAR em relação à microgeração distribuída e listar formas de manter a discussão sobre microgeração distribuída na CEMAR.

1.3 Método da Pesquisa

Para o desenvolvimento deste trabalho realizou-se uma pesquisa bibliográfica (livros, dissertações de mestrado, artigos e relatórios do MME (Ministério de Minas e Energia) e EPE (Empresa de Pesquisa Energética)) acerca do tema microgeração distribuída, com ênfase nos impactos e perspectivas em relação às distribuidoras de energia. Além disso, pesquisamos a legislação do tema aplicada ao setor elétrico e normas e padrões de distribuidoras de energia acerca do tema.

O método utilizado consiste na ampla pesquisa sobre o tema microgeração distribuída com foco nas distribuidoras de energia. Buscamos discutir sobre o assunto de forma sequencial e lógica. Além da introdução e das considerações

finalis, apresentamos o tema, suas características e legislação. Em seguida avaliamos os impactos nas distribuidoras de energia e as medidas que podem ser tomadas para difundir o tema na empresa.

CAPÍTULO 2

GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

A reestruturação do sistema elétrico, através da Lei 9.427/96 (Lei do Novo Setor Elétrico) definiu a introdução da competição no segmento de geração de energia. Além disso, reconheceu a figura do produtor independente de energia elétrica, assegurando o acesso aos sistemas de transmissão e distribuição de energia (LUIZ, 2012). Esse foi um passo importante para operação de geradores em paralelo com os sistemas de distribuição. Essa nova alternativa de topologia é conhecida como Geração Distribuída e, a cada dia, se consolida como uma tendência mundial, conforme destaca LUIZ (2012).

Uma das principais características da Geração Distribuída é a possibilidade de uma maior diversificação da tecnologia empregada, o que leva a um uso mais racional das fontes de produção de energia elétrica de acordo com as características do local onde está sendo instalada. Estimulando, por exemplo, a utilização de fontes solares fotovoltaicas no semi-árido nordestino, ou ainda, as fontes eólicas nas regiões costeiras.

A Geração Distribuída também proporciona um melhor aproveitamento da sazonalidade à qual alguns tipos de geração estão submetidos, fazendo com que haja uma melhor complementação à geração hidráulica. Ela também é vantajosa frente à geração centralizada, no que diz respeito à economia em investimentos na transmissão e distribuição de energia e na redução de perdas elétricas nesses sistemas, melhorando o serviço de energia elétrica (LUIZ, 2012).

Entre os principais fatores que favoreceram o advento da Geração Distribuída, destacamos:

- Dificuldade de obtenção do licenciamento ambiental de grandes centrais produtoras de energia, principalmente devido a grande área de reservatório necessária (FACURI, 2004);

- O curto espaço de tempo para instalação e facilidade de alocação (LUIZ, 2012);
- Atendimento mais rápido ao crescimento da demanda ou da demanda reprimida (LUIZ, 2012);
- Baixo custo de operação e manutenção das unidades de geração em comparação às grandes centrais produtoras de energia elétrica (LUIZ, 2012);

Portanto a Geração Distribuída caracteriza-se pela geração não centralizada visando o consumo local e diretamente conectado ao sistema de distribuição de energia elétrica das concessionárias de energia, podendo operar em paralelo ou de forma isolada.

2.1 Geração Distribuída e as Redes Elétricas Inteligentes

A Geração Distribuída também faz parte de uma série de conceitos que estão relacionados a modernização das redes elétricas de energia. Existe hoje o conceito das Redes Elétricas Inteligentes (REI), também conhecidas como *Smart Grid*. Todos os conceitos de *Smart Grid* convergem para a utilização de elementos digitais e de comunicações nas redes que transportam energia de forma que a rede seja capaz de antecipar, detectar e resolver automaticamente problemas no sistema (MME, 2011).

Dentro desse contexto de modernização das redes elétricas, a Geração Distribuída, constitui-se na geração de energia próxima ao consumidor final, cuja instalação objetiva seu atendimento prioritário, podendo ou não gerar excedentes energéticos comercializáveis para além das instalações do consumidor final.

2.2 Geração Distribuída e os Consumidores de Energia Elétrica

Para o consumidor de energia elétrica, os principais incentivadores para investimento na Geração Distribuída são (PADILHA, 2010):

- Prover independência e flexibilidade em relação ao atendimento de suas cargas, principalmente para aqueles que apresentam cargas sensíveis ou críticas em ambientes sujeitos a perturbações ou interrupção de energia;
- O excedente de energia produzida durante parte do dia pode compensar o consumo em horários que não esteja produzindo, como o período noturno para fontes fotovoltaicas ou com pouco vento para fontes eólicas, por exemplo, reduzindo os custos com a conta de energia;
- O potencial de prover alguns serviços auxiliares ao sistema de distribuição, como auxiliar no controle do nível de tensão, na estabilidade da rede elétrica ou mesmo no atendimento a consumidores próximos que não apresentam geração distribuída.

2.3 Geração Distribuída e as Distribuidoras de Energia Elétrica

Pelo lado da Distribuidora de Energia existem também algumas vantagens da adoção por parte dos consumidores da Geração Distribuída, são elas: (VIRAL e KHATOD, 2012).

- Possibilidade de postergação de investimentos em transmissão e distribuição, desde que seja possível a diminuição da demanda nos horários de pico;
- Possíveis reduções das perdas no sistema em função da localização das fontes próximos das cargas, pois haverá a redução do carregamento daquele trecho de rede impactando diretamente na diminuição das perdas técnicas (perdas por efeito Joule);
- Possível melhoria na regulação da tensão. Este item será discutido mais em detalhes nesse trabalho;

Por outro lado, as Distribuidoras de Energia têm algumas desvantagens na adoção da Geração Distribuída, que são (FARQUI, 2011):

- O planejamento e a operação dos sistemas elétricos ficam mais complexos;
- Aumento da complexidade dos procedimentos operacionais das equipes de manutenção e nas medidas de segurança a serem tomadas;

- Redução do faturamento da concessionária, devido ao *Net Metering* (Sistema de Compensação de Energia, que possibilita ao consumidor descontar do valor de energia consumida da Distribuidora de Energia a parcela de energia injetada na rede de distribuição);
- Aumento do nível de curto-circuito e seus efeitos associados;
- Dificuldade de controlar e proteger as redes elétricas que anteriormente apresentavam fluxo unidirecional e com a geração distribuída passam a ter fluxo bidirecional.

2.4 A Regulamentação da Geração Distribuída no Brasil

A Resolução 482/2012 da ANEEL divide a Geração Distribuída entre microgeração e minigeração distribuída, com as seguintes características (ANEEL, 2012):

- Microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 100 kW e que utilize fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;
- Minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 100 kW e menor ou igual a 1 MW para fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras.

Conceitualmente, outra característica da Geração Distribuída é a diversidade de fontes de energia de energia elétrica, sejam elas renováveis ou não renováveis. Entre as principais, destaques para solar fotovoltaica, eólica, células a combustível, Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs), turbinas a gás e a vapor (biomassa e combustíveis fósseis) e geradores de combustão interna (combustíveis fósseis).

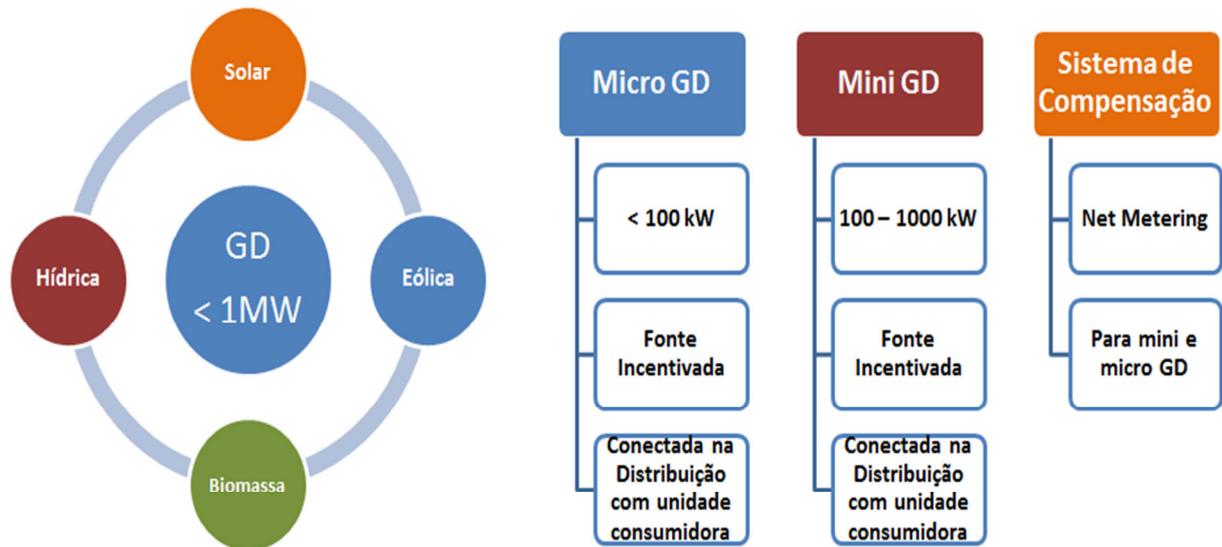
Entretanto, a Resolução 482/2012 da ANEEL limita as fontes de energia para a Geração Distribuída apenas às fontes de energia renováveis, quais sejam: solar

eólica, biomassa, pequenos aproveitamentos hídricos e cogeração incentivada, conforme pode ser visto no diagrama básico da Figura 1.

A Resolução 482/2012 regulamentou também o *Net Metering*, que define a forma como a energia produzida pela microgeração distribuída deve ser contabilizada pelas distribuidoras de energia. Pelos critérios estabelecidos pela Resolução as distribuidoras devem instalar medidores bidirecionais de forma a registrar tanto a energia consumida pela unidade consumidora proveniente da rede de distribuição da concessionária de energia, quanto a energia produzida pela microgeração distribuída e injetada na rede elétrica da concessionária. Ao final do ciclo mensal de tarifação é calculada a energia líquida consumida pela unidade consumidora, ou seja, a diferença entre a energia consumida através da rede de distribuição e a energia injeta pela microgeração na rede elétrica da concessionária. Este critério é bastante justo tanto para as distribuidoras quanto para os consumidores, entretanto conforme será discutido em outros capítulos, o Conselho Nacional de Política Fazendária entende que toda a energia consumida pela unidade consumidora deve ter incidência do ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadoria e Serviços), entendimento divergente ao da ANEEL. Neste sentido essa tributação extra torna o tempo de retorno do investimento mais alto.

O principal objetivo da ANEEL quando da publicação desta Resolução era a regulamentação dos critérios para que os consumidores possam produzir sua própria energia através da instalação de pequenos geradores em suas residências para consumo elétrico e receber descontos na conta de luz pela energia injetada na rede da concessionária.

Figura 1 - Diagrama Básico da Resolução 482/2012 da ANEEL



Fonte: elaboração própria, adaptado de VIEIRA (2013).

A Resolução 482/2012 também disciplina que para casos de Geração Distribuída com potência superior a 50 kW e que for necessária alguma obra de reforço na rede de distribuição da concessionária de energia para permitir a conexão desse gerador, deve ser calculada uma possível participação financeira do empreendedor. Esta participação financeira é uma forma de compensar os custos que a distribuidora de energia terá na conexão da geração à rede elétrica.

Como a Geração Distribuída tem o objetivo de atender prioritariamente as cargas do empreendedor, a potência dessa fonte de geração está limitada à Carga Instalada para os casos de conexão na rede de Baixa Tensão e a Demanda Contratada para os consumidores que se conectam na rede de Média Tensão da distribuidora de energia. Ou seja, se a unidade consumidora tem potência instalada de 10 kW, a potência da microgeração distribuída está limitada a 10 kW. Da mesma forma, caso um cliente empresarial tenha um contrato de demanda de 40 kW, a potência do seu sistema de Minigeração distribuída está limitado a 40 kW.

Este limite foi imposto pela ANEEL, pois ela entende que o objetivo da geração distribuída é atender as cargas da unidade consumidora e não gerar receita. Este limite é coerente com a visão da ANEEL de não tributar a energia consumida pelo consumidor, e sim, o balanço entre a energia consumida e a energia

injetada, já que não há o objetivo de gerar receita ao investidor, mas sim diminuir os custos e o consumo da unidade consumidora. Desta forma, a ANEEL trata a micro e Minigeração distribuída como uma medida de eficiência energética.

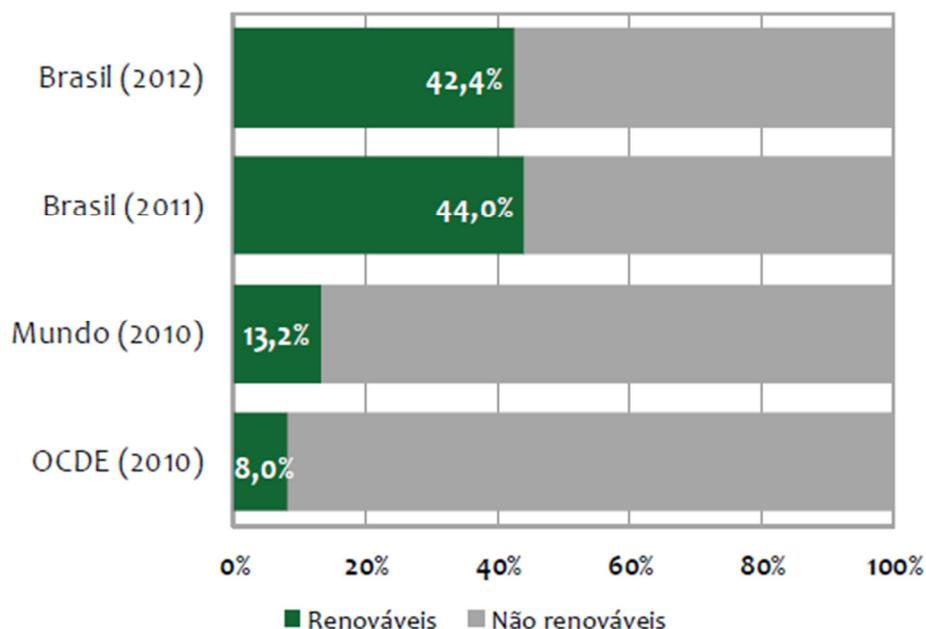
A distribuidora de energia é responsável também por realizar esses estudos de conexão sem ônus ao empreendedor (ANEEL, 2012).

2.5 Tecnologias de Geração Distribuída Utilizando Fontes Renováveis

Quando comparamos o Brasil em relação aos outros países do mundo levamos vantagem em relação à utilização de fontes renováveis para suprimento de energia.

De acordo com o Balanço Energético Brasileiro (EPE, 2013), 42,4% da matriz energética brasileira foi proveniente de fontes renováveis. Em termos comparativos, no mundo o percentual de fontes renováveis foi de apenas 13,2% e se levarmos em consideração apenas os países membros da OCDE (Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico), que envolve os países mais industrializados do mundo, esse percentual foi de apenas 8,0% como pode ser visto na Figura 2.

Figura 2 – Matriz Energética Brasileira e Mundial.

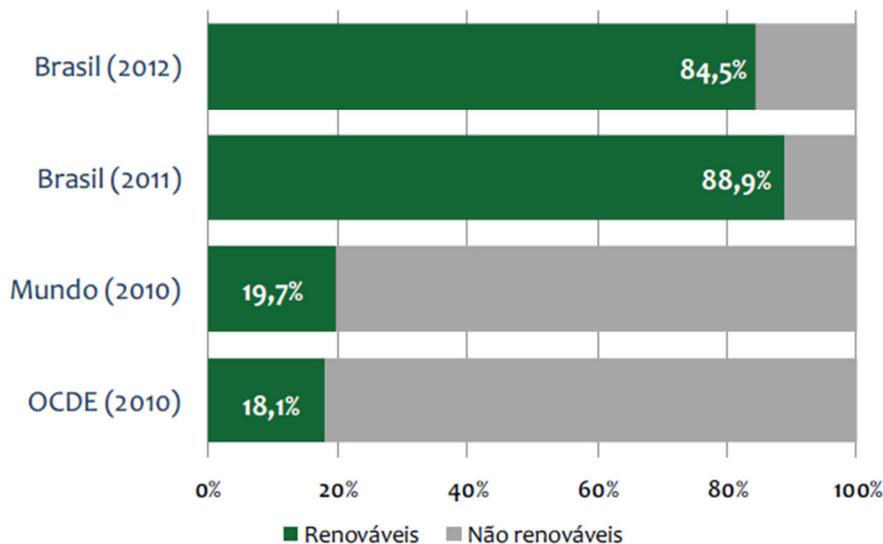


Fonte: EPE, 2013

Observa-se uma pequena queda na participação das fontes renováveis na matriz energética brasileira de 2011 para 2012 devido a condições hidrológicas desfavoráveis e a diminuição do etanol disponível para geração de energia (BEN, 2012).

Em relação à matriz elétrica, ou seja, a fonte de energia para produção exclusiva de energia elétrica, o Brasil em comparação a outros países do mundo tem larga utilização de fontes renováveis graças à predominância das usinas hidrelétricas em nosso país, conforme pode ser visto na Figura 3.

Figura 3 – Matriz Elétrica Brasileira e Mundial



Fonte: EPE, 2013

Semelhante a matriz energética, na matriz elétrica brasileira observa-se uma pequena queda na participação das fontes renováveis em 2012 em relação a 2011. Isto foi devido também às condições hidrológicas desfavoráveis e ao aumento da geração térmica (EPE, 2013).

Apesar dos bons números brasileiros em relação à geração por fontes renováveis de energia, o consumo crescente de energia elétrica e o impacto ambiental e social causados pelas fontes de energia tradicionais levam ao desafio de buscar novas alternativas para geração de eletricidade, além do tradicional aproveitamento hidroelétrico.

Nesse cenário, fontes de energia como solar e eólica são opções interessantes pelos baixos impactos ambientais em comparação com fontes não renováveis de energia.

Essa busca por estas fontes renováveis alia-se com as características da Geração Distribuída e as principais fontes renováveis são os painéis fotovoltaicos, os geradores eólicos e as pequenas centrais hidrelétricas. Além disso, existem tecnologias sendo intensamente pesquisadas pelos principais centros de pesquisas e universidades de todo o mundo, como as células a combustíveis, por exemplo.

Apresentamos a seguir as principais características das fontes de energia renováveis.

2.5.1 Energia Solar Fotovoltaica

As fontes de energia hidráulica, biomassa, eólica, combustível fóssil e energia dos oceanos são formas indiretas de energia solar. Além disso, a radiação solar pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluidos e ambientes e para geração de potência mecânica ou elétrica. Pode ainda ser convertida diretamente em energia elétrica, por meio de efeitos sobre determinados materiais, entre os quais se destacam o termoelétrico e o fotovoltaico (MME, 2013).

A energia solar é uma das principais fontes para microgeração distribuída, ou seja, a utilização da energia solar fotovoltaica.

Os sistemas fotovoltaicos são baseados em painéis ou módulos compostos de células fotovoltaicas, dispositivos que tem a capacidade de captar a energia da luz do sol e converter em energia elétrica, o chamado efeito fotovoltaico (BENEDITO, 2009)

O seu princípio de funcionamento ocorre conforme descrito a seguir. Existem na natureza materiais classificados como semicondutores, que se caracterizam por possuírem uma banda de valência preenchida por elétrons e uma banda de condução totalmente vazia a temperaturas muito baixas. Uma propriedade fundamental para as células fotovoltaicas é a possibilidade de fótons com energia

superior ao *gap* do material excitarem elétrons de forma que estes passem à banda de condução. Este efeito por si só não garante o funcionamento das células fotovoltaicas, é necessária uma estrutura apropriada para que os elétrons excitados possam ser coletados, gerando uma corrente útil. (ANEEL, 2008)

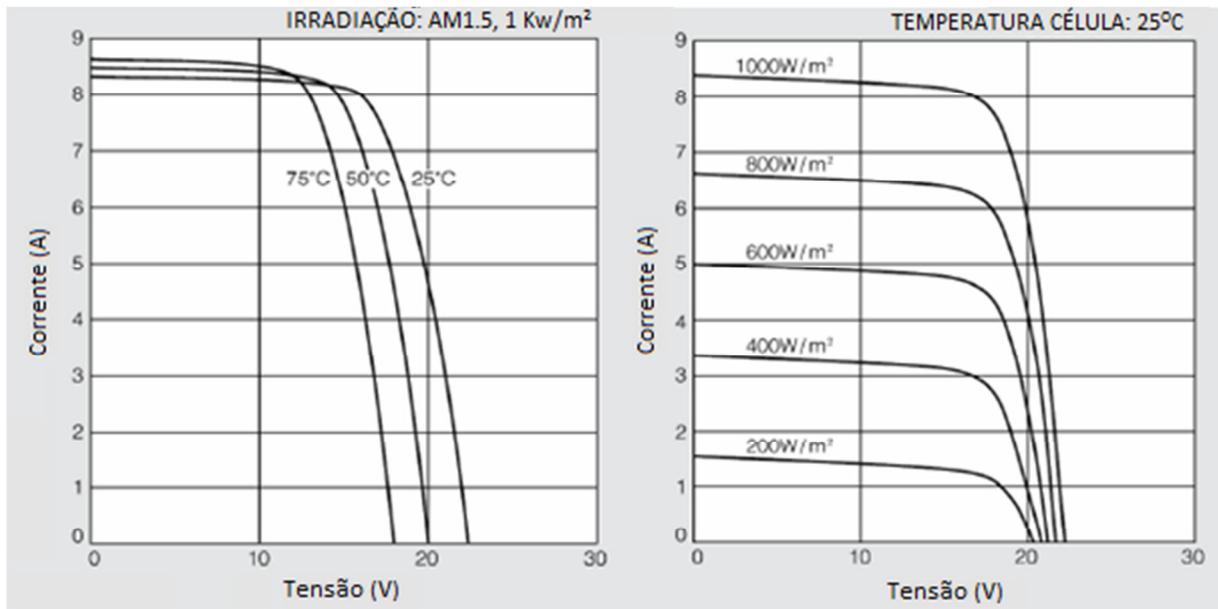
Para isso, são acrescentados aos materiais ou semicondutores à base de silício, que é o material mais utilizado na produção de células fotovoltaicas, átomos de fósforo e boro, em um processo conhecido como dopagem do silício, formando uma junção *pn*.

Quando a junção *pn* fica exposta a fótons com energia maior que o *gap* existente entre a banda de valência e a de condução, ocorre a geração de pares elétron-lacuna. Se isso acontecer onde o campo elétrico é diferente de zero, as cargas são aceleradas, gerando assim uma corrente através da junção. Este deslocamento de cargas dá origem a uma diferença de potencial, chamado de efeito fotovoltaico (REIS, 2010).

Atualmente o silício é o material mais importante, pois já se tem um conhecimento tecnológico bastante avançado sobre este material, além da matéria-prima ser abundante.

Essas células produzem baixas correntes e tensões de saída e para tornar-se economicamente viáveis são agrupadas (em paralelo ou série), formando módulos ou painéis fotovoltaicos. Estes módulos fotovoltaicos também são associados em série ou paralelo de modo a formar um conjunto de painéis fotovoltaicos que é capaz de gerar potências relativamente elevadas.

Figura 4 – Curva Característica de tensão e corrente de um painel fotovoltaico em diferentes temperaturas e incidências solares.



Fonte: Adaptado de EPE, 2012a.

Podemos observar na Figura 4 que em grande parte da curva, há uma relação não linear entre a tensão e a corrente.

Observa-se também que a temperatura do ambiente altera a curva típica do painel fotovoltaico. Na presença de temperaturas maiores, o painel fotovoltaico é fornece menos corrente à carga, ou seja, ele é capaz de gerar menos energia.

Quanto maior for a incidência solar menor é a capacidade do painel fotovoltaico em alimentar as cargas.

Ou seja, claramente pode ser visto que o painel fotovoltaico diminui a capacidade de fornecimento de energia com o aumento de temperatura e com o aumento da incidência solar.

Como a saída dos painéis fotovoltaicos é fornecida em corrente contínua, a energia gerada tem que estar conectada a um inversor, este faz a conversão da energia de corrente contínua para corrente alternada de forma a alimentar as cargas e/ou injetar na rede de distribuição.

A energia solar no território brasileiro tem elevado potencial para sua conversão em energia elétrica, com irradiação global média anual entre 1.200 e 2.400 kWh/m²/ano (EPE, 2012a). Para efeito de comparação, nos países europeus, que são os que mais exploram esta fonte, como Alemanha e Espanha, os valores variam, respectivamente, nas faixas 900-1.650 e 1.200-1.850 kWh/m²/ano (EPE, 2012a). Apesar do grande potencial, os custos atuais dessa tecnologia são relativamente elevados. Porém esses custos apresentam tendência de queda, principalmente na geração fotovoltaica. Caso a tendência seja concretizada, a energia solar poderá entrar na matriz elétrica brasileira por duas rotas tecnológicas: a das centrais solares e a geração distribuída, esta última, é o foco de estudo desta dissertação.

Essa tendência de forte queda no valor dessas células aliada a incentivos governamentais pode massificar a sua utilização em unidades consumidoras residenciais e comerciais, na forma principalmente de microgeração distribuída, já que os painéis fotovoltaicos podem ser bem adaptados nos telhados das residências e comércios (BENEDITO, 2009).

2.5.2 Energia Eólica

A energia eólica é a energia obtida a partir do movimento das massas de ar, ou seja, a partir do vento.

Seu aproveitamento ocorre por meio da conversão da energia cinética de rotação, com o emprego de turbinas eólicas, também denominadas aerogeradores, para a geração de eletricidade, ou cataventos (e moinhos), para trabalhos mecânicos como bombeamento de água (ANEEL, 2005).

As turbinas dos aerogeradores são formadas por um conjunto de pás que, devido a ação do vento, são submetidas a forças aerodinâmicas que a colocam em um movimento de rotação. Os principais componentes de força que caracterizam o funcionamento de uma turbina eólica são: a força de arrasto na direção do vento e a força de sustentação perpendicular à direção do vento.

Um dado essencial em um projeto de um gerador eólico é a velocidade dos ventos no ponto de instalação da geração. A potência total de uma massa de ar é diretamente proporcional à área atravessada pelo vento e o cubo da velocidade do vento (REIS, 2010).

Desta forma, mesmo pequenas variações de velocidade do vento podem ocasionar grandes alterações na potência. Daí a grande importância de se obter dados confiáveis e de boa qualidade. A má qualidade dos dados de vento resulta no dimensionamento inadequado do sistema eólico, em erros de estimativas de produção de energia e conseqüentemente em prejuízos financeiros ao proprietário do projeto de geração (REIS, 2010).

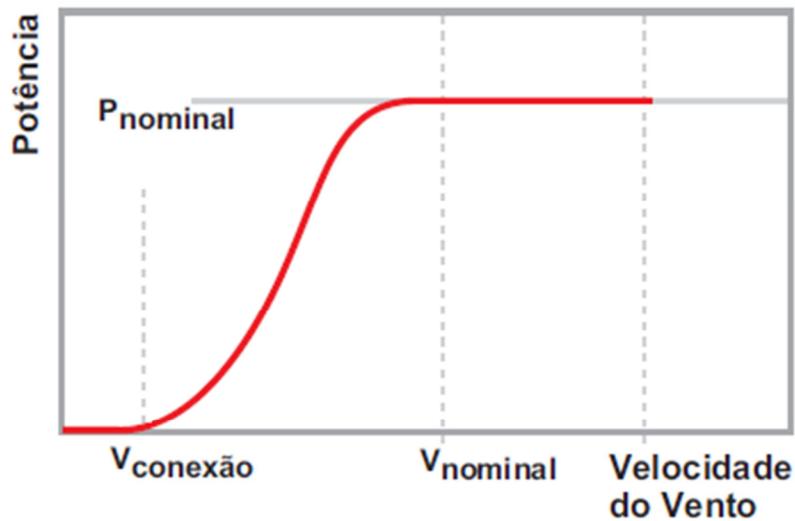
Recentes desenvolvimentos tecnológicos, como sistemas avançados de transmissão, melhorias aerodinâmicas, estratégias de controle e operação das turbinas tem reduzido custos e aumentado o desempenho e confiabilidade dos equipamentos (ANEEL, 2005).

Na geração eólica o conversor (gerador) é o componente que tem a finalidade de converter a energia mecânica do eixo em energia elétrica.

Além disso, os sistemas eólicos apresentam o sistema de controle que é constituído por uma série de sensores (sensor de vento, rotação do rotor, carga da bateria, etc.), que fornecerão dados necessários para permitir o funcionamento harmônico e seguro de todo o sistema, com o melhor aproveitamento possível do vento (REIS, 2010).

A figura 5 ilustra o gráfico de potência da operação normal de um tipo de turbina eólica que pode ser utilizada para microgeração distribuída.

Figura 5 – Gráfico da curva típica de potência com a variação da velocidade do vento de um Aerogerador



Fonte: Adaptada de CEPEL, 2010

Pela análise da Figura 5, podemos perceber que no momento que o vento atinge a velocidade de conexão ou velocidade de partida (primeiro pontilhado), a turbina eólica começa a produzir energia. Quando o vento atinge a velocidade especificada em projeto (segundo pontilhado), o gerador atinge a potência nominal (trecho do gráfico com potência constante apesar da variação da velocidade). A partir de determinada velocidade, os ventos são considerados excessivos e a turbina eólica é desligada (último trecho pontilhado).

O custo dos equipamentos que era um dos principais entraves ao aproveitamento comercial da energia eólica caiu bastante de forma que já houve usinas eólicas comercializadas em leilões de energia elétrica no Brasil com valor inferior a R\$ 100,00/MWh (EPE, 2012b).

A energia eólica é a fonte que mais cresceu no país em contratação nos leilões de energia desde 2009. As contratações dos últimos anos demonstraram que as usinas eólicas atingiram preços bastante competitivos e impulsionaram a instalação de uma indústria nacional de equipamentos para atendimento a esse mercado. Essa participação crescente na matriz elétrica brasileira a uma combinação de fatores relacionados ao cenário externo, ao desenvolvimento

tecnológico e da cadeia produtiva, além de aspectos regulatórios, tributários e financeiros (MME, 2013).

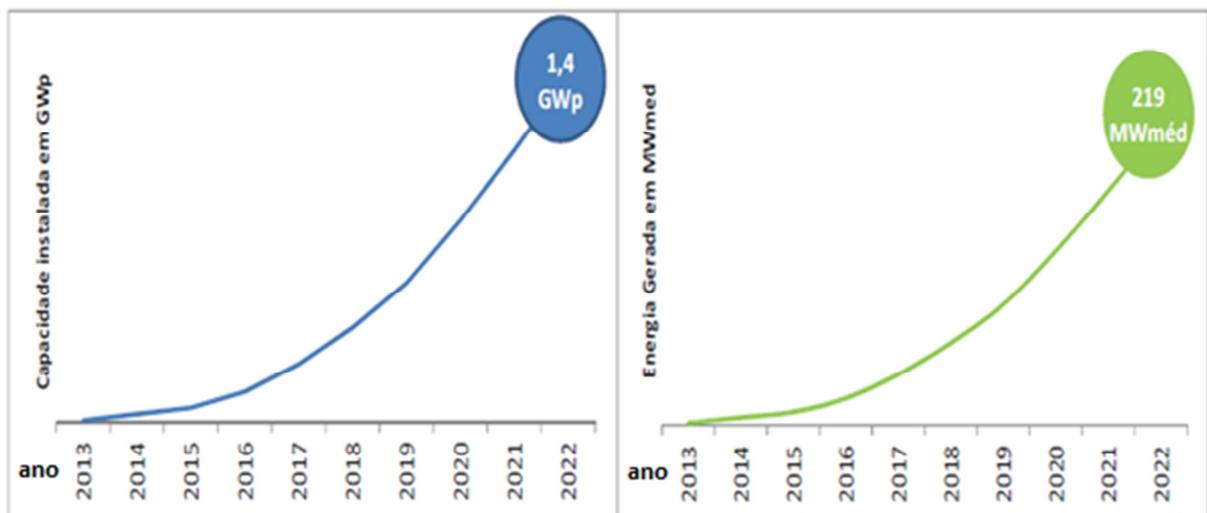
De maneira geral, a redução dos custos necessários ao investimento na mini ou micro geração eólica favorece a sua implantação na geração distribuída. Particularmente no Maranhão, a primeira unidade consumidora a instalar um projeto de geração distribuída pelas regras da Resolução 414/2012 utiliza um gerador eólico. (CEMAR, 2013a)

2.6 A Participação da Geração Distribuída na Matriz Elétrica Brasileira: Situação Atual e Perspectivas Futuras

Atualmente a participação da geração distribuída na matriz elétrica brasileira é irrelevante, mas estudos apontam para um potencial de 1,9 TWh (equivalente a 219 MWmed) de energia produzida pela mini e microgeração distribuída no ano de 2022, conforme pode ser visto na Figura 6 (MME, 2013).

Figura 6 – Evolução da Capacidade Instalada e Energia Gerada pela Geração Distribuída de pequeno porte até 2022.

Evolução de capacidade instalada e energia gerada



Fonte: MME, 2013

CAPÍTULO 3

OS IMPACTOS DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NA QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA DAS DISTRIBUIDORAS

O tema qualidade de energia elétrica entra cada vez mais na agenda dos consumidores, das agências reguladoras e das concessionárias de distribuição.

As distribuidoras de energia elétrica estão sendo cada vez mais cobradas e fiscalizadas em relação a qualidade de energia fornecida aos consumidores.

No setor elétrico brasileiro, o tema qualidade de energia é regulamentado pelo PRODIST, que são os Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica. O PRODIST é dividido em módulos que foram elaborados pela ANEEL e normatizam e padronizam as atividades técnicas relacionadas ao funcionamento e desempenho dos sistemas de distribuição de energia elétrica.

O PRODIST é constituído de nove módulos, que são: (ANEEL, 2013a)

- 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 de Energia Elétrica;
- Módulo 9 – Ressarcimento de Danos Elétricos.

Portanto, no tocante ao assunto Qualidade de Energia, o módulo 8 do PRODIST é quem rege todas as regras a fim de padronizar os procedimentos de todas as distribuidoras de energia elétrica do Brasil.

A ANEEL vem realizando revisões periódicas no módulo 8, o que mostra a importância dada pela Agência Reguladora a este assunto (ANEEL, 2013b).

Além das exigências cada vez maiores por parte dos consumidores de energia elétrica e da Agência Reguladora, existem outros fatores que pressionam ainda mais as distribuidoras de energia elétrica a fornecer energia elétrica com boa qualidade, que são: (NASCIMENTO, 2013)

- O crescimento de cargas sensíveis a variações de tensão e da frequência;
- A proliferação de dispositivos chaveados eletronicamente, como os microcomputadores domésticos que injetam harmônicos na rede;
- O aumento de equipamentos sofisticados nas indústrias, os quais necessitam de boa qualidade de energia para operar corretamente e ter uma longa vida útil.

Com a inserção da geração distribuída no sistema elétrico das distribuidoras de energia, as redes precisam ser reanalisadas, principalmente no aspecto operacional, já que foram projetadas para serem passivas, com fluxo de potência unidirecional e a partir da geração distribuída passam a ser ativas e com possível fluxo de potência bidirecional. (NASCIMENTO, 2013)

3.1 Os Impactos da Geração Distribuída na Qualidade de Energia

São vários os parâmetros que permitem a avaliação da qualidade do fornecimento de energia elétrica, podemos citar alguns: a continuidade do fornecimento, nível de tensão, oscilações de tensão, desequilíbrios, distorções harmônicas de tensão e interferência em sistemas de comunicações (MEHL, 2002).

Por outro lado, o PRODIST módulo 8 quando define a qualidade do produto energia elétrica, considera oito variáveis, que são: tensão em regime permanente, fator de potência, harmônicos, desequilíbrio de tensão, flutuação de tensão, variações de tensão de curta duração e variação de frequência (ANEEL, 2013b).

Os impactos da Geração Distribuída na qualidade de energia dependem de alguns fatores, como: a capacidade de geração, a localização da geração na rede, o quantitativo de cargas próximas a esse gerador, além da estratégia de regulação desse alimentador. (NASCIMENTO, 2013)

No geral, existem muitos problemas associados com a regulação de tensão como, por exemplo, os casos em que a Geração Distribuída além de ser de pequeno porte (microgeração distribuída), está localizada longe da subestação. Isto dificulta a regulação de tensão para os consumidores vizinhos a este da geração distribuída, visto que a variação de tensão pode ser muito grande dependendo da injeção ou não de energia por parte desse gerador.

Apresentamos a seguir alguns impactos da microgeração distribuída na qualidade de energia. Não é o objeto identificarmos e descrevermos todos os impactos possíveis da microgeração distribuída na qualidade de energia elétrica, mas destacaremos os mais relevantes para as empresas de distribuição de energia elétrica, como a CEMAR.

3.1.1 Harmônicos

As distorções harmônicas são um tipo específico de energia “suja” (poluída ou contaminada) que, diferentemente dos transitórios de corrente e tensão, estão presentes de forma permanente, associadas ao crescente número de acionamentos estáticos (inversores de frequência, variadores de velocidade, etc.), fontes chaveadas, e outros dispositivos eletrônicos de acionamento (lâmpadas eletrônicas, por exemplo). (MEHL, 2002)

Em relação aos harmônicos, a Geração Distribuída apresenta efeito negativo.

Isto porque a Geração Distribuída pode degradar a qualidade da energia, pois a maioria das tecnologias de geração injeta harmônicos na rede de distribuição.

Essa injeção deve-se ao uso de conversores eletrônicos de potência não controlados. As tecnologia que utilizam ainda tiristores tendem a injetar mais harmônicos no sistema.

Contudo, projetos de geração distribuída mais bem elaborados e modernos que lançam mão de IGBTs (*Insulated Gate Bipolar Transistor*) e a tecnologia PWM (*Pulse-Width Modulation*) geram menos harmônicos. (NASCIMENTO, 2013)

Para prevenir os efeitos das distorções harmônicas na rede de distribuição da CEMAR injetadas por microgeradores distribuídos, a Norma Técnica 16.020.00 referente aos sistemas de microgeração distribuída estabelece que a distorção harmônica total de corrente deve ser inferior a 5%, na potência nominal do sistema de geração distribuída. (CEMAR, 2012)

Além disso, a norma estabelece um limite para cada harmônica individual, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Limite de distorção harmônica de corrente para os sistemas de microgeração distribuída segundo Norma Técnicas da CEMAR

HARMÔNICAS ÍMPARES	LIMITE DE DISTORÇÃO
3 ^a a 9 ^a	< 4.0 %
11 ^a a 15 ^a	< 2.0 %
17 ^a a 21 ^a	< 1.5 %
23 ^a a 33 ^a	< 0.6 %
HARMÔNICAS PARES	LIMITE DE DISTORÇÃO
2 ^a a 8 ^a	< 1.0 %
10 ^a a 32 ^a	< 0.5 %

Fonte: CEMAR, 2012

3.1.2 Outros Efeitos sobre o Nível de Tensão

Segundo WASEEM (2008) a inserção da microgeração distribuída na rede elétrica pode ter impacto no perfil global da tensão em regime permanente ao longo da linha de distribuição. Ainda segundo o autor, a inclusão da microgeração pode

melhorar a alimentação de tensão de clientes que estão em áreas críticas, onde a queda de tensão ou mesmo apagões são motivo de preocupação de distribuidoras de energia.

O gerador distribuído quando conectado à rede afeta o fluxo de potência e o perfil de tensão, pois para injetar potência ativa, ele precisa ter em seus terminais tensão mais elevada do que a barra da subestação, caso contrário estaria absorvendo grande parte da potência reativa da rede. (MARTERS, 2002)

Isso explica a elevação da tensão nos pontos de interconexão entre o gerador distribuído e a rede de distribuição.

Por conta disso, os patamares de tensão devem ser periodicamente monitorados pelas distribuidoras, já que podem infringir os níveis de tensão regulamentados pela ANEEL.

As ações que podem mitigar a elevação de tensão acima dos limites regulamentares podem estar na imposição de alguns limites aos geradores distribuídos ou ainda a realização de alguns investimentos por parte das distribuidoras de energia.

Em relação a imposição de limites aos geradores distribuídos pode-se reduzir a potência ativa injetada na rede ou ainda a importação de potência reativa, de forma que ele opere com o fator de potência indutivo. (MASTERS, 2002)

As ações mitigadoras que podem ser realizadas pelas distribuidoras são as instalações de reguladores de tensão ao longo desses trechos de linha ou o aumento da bitola dos cabos de forma a reduzir a resistência da rede.

Alguns estudos indicam que os melhores perfis de tensão acontecem quando os geradores estão alocados de forma distribuída na rede (NUROGLU E ARSOY, 2008).

3.2 Os efeitos da proteção anti-ilhamento na tensão de fornecimento

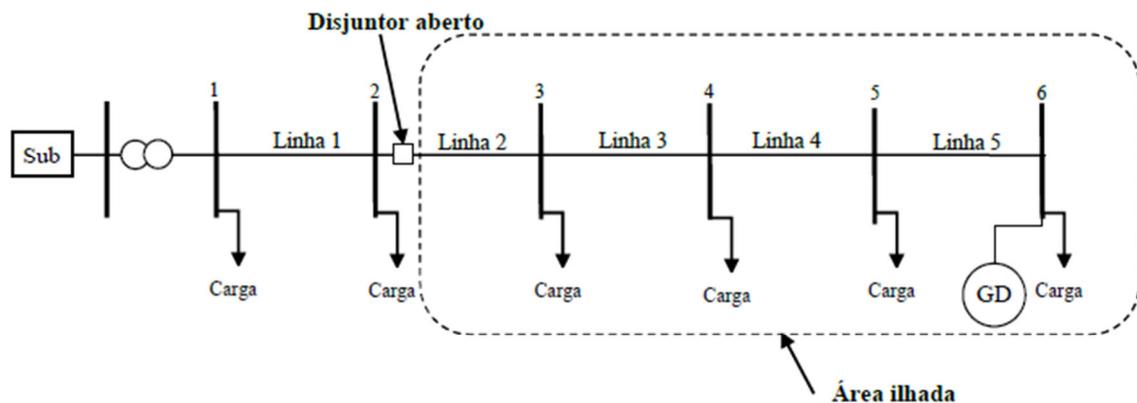
A conexão de geradores distribuídos nas redes de distribuição deve ser precedida de uma série de estudos operacionais por parte das distribuidoras de

energia elétrica. Estes estudos devem determinar as condições de operação, controle e proteção dos geradores distribuídos.

Entre os pontos de estudos, um deles é a proteção anti-ilhamento ou a proteção da operação ilhada do gerador distribuído.

Ilhamento, segundo a IEEE Standards 929-2000 (2000), é conceituado como a condição a qual a porção do sistema de distribuição contém tanto cargas como geradores distribuídos se mantém energizada enquanto está isolada do sistema da distribuidora de energia elétrica, conforme figura 7 (NASCIMENTO, 2013).

Figura 7 – Ilha formada pela abertura de um disjuntor.



Fonte: NASCIMENTO, 2013.

Um curto-circuito em um alimentador da rede de distribuição pode deixar parte da rede de distribuição energizada através da geração distribuída, o que pode provocar uma série de problemas para a rede, como: (VIEIRA JR, 2006)

- Parte da rede de distribuição estará energizada pela geração distribuída sem o conhecimento da distribuidora, as equipes de manutenção da rede elétrica envolvidas na recuperação do sistema terão sua segurança ameaçada;
- A perda da energia disponibilizada pela distribuidora, fará com que os geradores distribuídos não consigam abastecer as cargas com a tensão adequada, ou seja, haverá perda na qualidade de energia entregue aos consumidores;

- A perda da energia disponibilizada pela distribuidora, fará com que os níveis de curto-circuito diminuam bastante o que pode provocar a perda de coordenação da proteção;

Portanto, é fundamental a existência de dispositivos que possam desconectar os geradores distribuídos da rede elétrica da concessionária local.

Por todos os aspectos já descritos anteriormente, o ilhamento não é desejado pelas distribuidoras de energia. Em geral, as diretrizes utilizadas pelas distribuidoras são: (NASCIMENTO, 2013)

- O gerador distribuído deve se desconectar da rede de distribuição em caso de variação anormal na tensão ou frequência;
- A perda de pelo menos uma das fases da rede da concessionária deve provocar o desligamento da geração distribuída;
- Em caso de haver religamento automático habilitado na rede de distribuição, o gerador distribuído deve ser desconectado antes do primeiro religamento.

As distribuidoras podem facilmente realizar testes para verificar o adequado funcionamento da proteção anti-ilhamento.

Estes testes são realizados com o sistema de microgeração distribuída interligado à rede. Neste momento a distribuidora pode simular uma falta na rede, abrindo uma das chaves fusíveis que alimenta a baixa tensão deste circuito. Neste momento, se o sistema de proteção anti-ilhamento estiver funcionando, a microgeração distribuída cessa a injeção de corrente na rede elétrica da concessionária e alimenta somente as cargas internas da unidade consumidora.

Este é o teste básico realizado pela CEMAR para teste do sistema anti-ilhamento da microgeração distribuída.

Contudo, antes da atuação do ilhamento, é necessária a detecção do mesmo e para isso existem diversas técnicas, que dividimos entre remotas e locais.

As técnicas remotas são baseadas em sistemas de supervisão e controle como sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) e comunicação entre dispositivos de proteção.

As técnicas locais podem ser baseadas na medição de grandezas elétricas nos pontos de conexão entre o gerador distribuído e a rede de distribuição da concessionária local ou ainda detecção de pequenos distúrbios nos pontos de conexão.

3.3 Como Minimizar o Impacto da Variação de Tensão Inserida pela Geração Distribuída

Um das principais preocupações das distribuidoras de energia em relação à geração distribuída são as variações de tensões que podem ocorrer nas redes elétricas devido as constantes entradas e saídas dos geradores.

No momento em que os geradores distribuídos estão conectados à rede da concessionária há uma elevação de tensão na rede e no momento que estes geradores são desconectados há uma queda na tensão da rede. Soma-se a isso, o fato que, em geral, a demanda aumenta durante a noite quando os geradores a base da solar fotovoltaica, que constitui a principal fonte utilizada na microgeração distribuída, não estão produzindo energia.

Ou seja, quando os geradores fotovoltaicos poderiam contribuir mais para melhorar manter o nível de tensão adequado aos consumidores, ele não está gerando.

A qualidade da energia fornecida pelos sistemas de geração distribuída às cargas locais e a rede elétrica da CEMAR é regida por práticas e normas referentes a tensão, frequência, distorção harmônica e fator de potência.

A conexão não poderá acarretar prejuízos ao desempenho e aos níveis de qualidade dos serviços públicos de energia elétrica a qualquer consumidor, conforme os critérios estabelecidos pelo poder concedente (CEMAR, 2012).

O desvio dos padrões estabelecidos por essas normas caracteriza uma condição anormal de operação, e os sistemas devem ser capazes de identificar esse desvio e cessar o fornecimento de energia à rede da CEMAR.

É mandatório que todos os parâmetros de qualidade de energia (tensão, frequência, distorção harmônica e fator de potência) devem ser medidos na interface da rede com a microgeração distribuída, exceto quando houver indicação de outro ponto, quando aplicável.

As distribuidoras de energia elétrica podem interromper o acesso ao sistema quando constatar a ocorrência de qualquer procedimento irregular ou deficiência técnica e/ou segurança das instalações de conexão que ofereçam risco iminente de danos a pessoas ou bens, ou quando se constatar interferências, provocadas por equipamentos do acessante, prejudiciais ao funcionamento do sistema elétrico da acessada ou de equipamentos de outros consumidores. (CEMAR, 2012).

A Norma Técnica 16.020.00 sobre microgeração distribuída da CEMAR estabelece que todas as vezes que a tensão da rede saia da faixa de operação de 80% a 110% da tensão nominal de fornecimento de energia, o sistema de microgeração deve interromper o fornecimento de energia à rede.

O sistema de microgeração distribuída deve ser capaz de perceber essa condição anormal de tensão e atuar, ou seja, cessar o fornecimento à rede. Os tempos máximos para atuação do sistema de proteção devem ser conforme Tabela 2.

Tabela 2 - Tempo de resposta às condições anormais de tensão na rede elétrica

TENSÃO NO PONTO DE CONEXÃO COMUM (% em relação à $V_{nominal}$)	TEMPO MÁXIMO DE DESLIGAMENTO
$V < 80\%$	0.4 s
$80\% \leq V \leq 110\%$	Regime normal de operação
$V > 110\%$	0.2 s

Fonte: CEMAR, 2012

O sistema de geração distribuída deve permanecer conectado à rede, porém sem injeção de energia, a fim de monitorar os parâmetros da rede elétrica e permitir a reconexão do sistema quando as condições normais de tensão e frequência forem restabelecidas e estiverem estáveis após um determinado tempo pré-estabelecido na configuração do inversor.

Outra forma de minimizar esse efeito das variações de tensão é a distribuidora de energia elétrica instalar em circuitos com a presença de muita microgeração distribuída um Autotransformador Regulador de Tensão Automático.

Este equipamento é projetado com taps para aumentar ou diminuir a tensão, comandado por uma placa eletrônica. Quando a tensão fica acima ou abaixo da nominal, este comando manda fazer compensação, através da mudança de taps do transformador.

Esta passagem de um tap para outro é feita através de contadores ou tiristores, protegidos eletromagneticamente por um equipamento sem provocar picos ou interrupção de energia que também protege contra curtos-circuitos.

Estes equipamentos podem ser instalados diretamente nos postes e dependendo da potência do circuito de baixa tensão, eles podem ser instalados interligados diretamente no secundário dos transformadores de distribuição ou ainda em trechos da baixa tensão com maiores desvios de tensão.

CAPÍTULO 4

OS IMPACTOS DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NA PROTEÇÃO DOS SISTEMAS ELÉTRICOS DA CEMAR

4.1 Proteções de Sistemas Elétricos

A correta atuação dos esquemas de proteção desempenha um papel fundamental na detecção e isolamento de curtos-circuitos, prevenindo e limitando defeitos e principalmente mantendo a integridade dos ativos elétricos.

Por correta atuação entende-se que equipamentos, dispositivos ou circuitos que estejam operando de forma anormal sejam retirados de serviço no menor tempo.

A proteção de sistemas elétricos atua com dois grandes objetivos (COTOSCK, 2007):

- Evitar que falhas no sistema, como no curto-circuito, possam danificar equipamentos e materiais desse sistema;
- Promover o rápido restabelecimento de energia, evitando danos aos consumidores e proporcionando uma qualidade no fornecimento da energia aos usuários.

Para isso, análises referentes ao nível de curto-circuito, às contribuições das fontes para a falta, à filosofia de proteção adotada, diretrizes para religamento automático, tipo de aterramento, condições pré e pós-falta, entre outras, são premissas para a especificação e parametrização dos elementos que compõem o sistema de proteção.

Em geral, a implantação de um novo ponto de geração na rede implica na necessidade de estudos, que são responsabilidade das distribuidoras de energia, para avaliação das condições de operação da rede e da coordenação de proteção

em estado permanente e sob a condição de falta. A resposta da rede depende de muitos fatores incluindo a magnitude da perturbação, impedância e localização da Geração Distribuída, o uso de dispositivos reguladores de tensão, configuração do sistema de energia, entre outros fatores.

A entrada de um gerador distribuído requer que a distribuidora de energia estude toda a rede elétrica na qual este gerador será inserido.

Deve-se, portanto, verificar os ajustes dos religadores presentes neste alimentador, sejam eles da subestação mais próxima ou em um ponto próximo na rede de distribuição, verificar os ajustes dos reguladores ao longo deste trecho a fim de garantir uma regulação de tensão mais coerente com a nova configuração da rede e também reavaliar a localização dos bancos de capacitores espalhados ao longo da rede elétrica.

4.2 Proteção de alimentadores na CEMAR

A grande maioria dos relés de proteção instalados atualmente na CEMAR é digital.

Os relés digitais apresentam confiabilidade bem superior aos antigos relés eletromecânicos, além de disponibilizar uma série de informações que facilita a manutenção, supervisão e controle do sistema elétrico protegido por este equipamento.

Os relés digitais instalados hoje nas subestações da CEMAR são a base para todo o processo de proteção, supervisão e controle. Através deles, recebemos as informações do estado dos equipamentos (aberto ou fechado), os alarmes acionados na subestação e ainda enviamos os comandos para abertura, fechamento, aumento ou diminuição de TAP, ligar ou desligar a ventilação forçada de transformadores, por exemplo.

Os relés de proteção dos alimentadores da CEMAR, em geral, estão apenas com a função de sobrecorrente habilitada. Apenas em casos excepcionais utilizamos proteções por tensão ou frequência. Portanto vamos basear nossa análise na proteção por corrente.

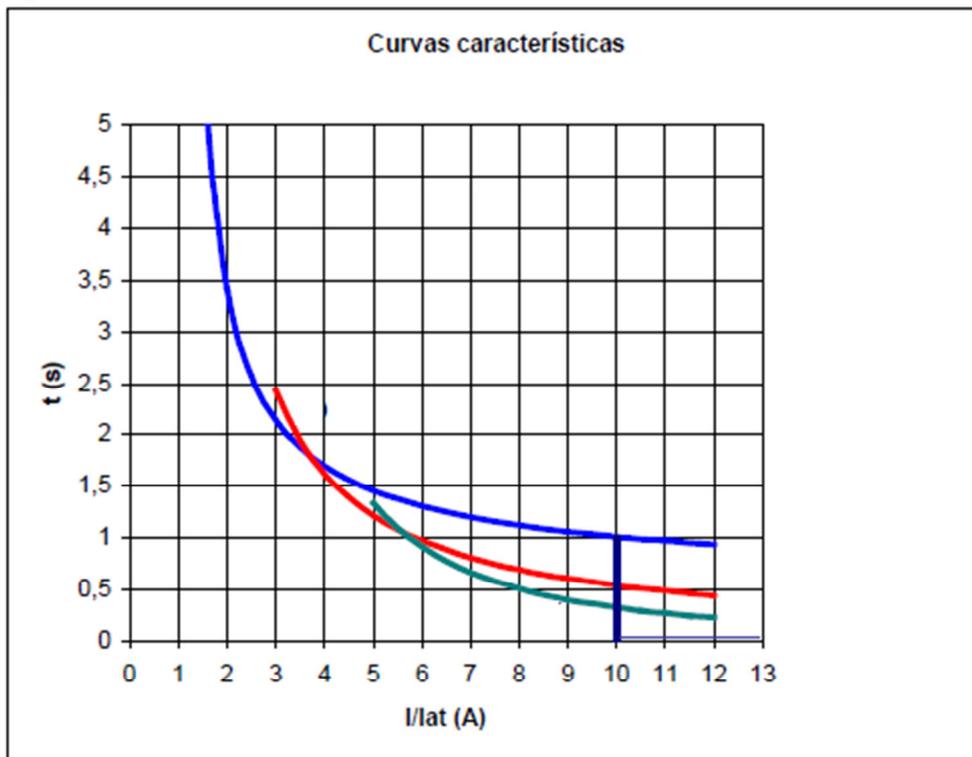
As proteções de sobrecorrente podem ser instantâneas ou temporizadas.

As proteções de sobrecorrente instantâneas operam em geral com um tempo definido, porém muito curto (poucos ciclos), ou seja, o tempo de atuação é fixo desde que ultrapassado o valor da corrente de operação. Esta proteção atua em geral para curto-circuito próximo da barra da subestação, onde o nível é muito alto e é importante a rápida atuação para evitar avaria nos equipamentos da subestação, principalmente os transformadores de potência.

Por outro lado, as proteções de sobrecorrente temporizadas podem operar com tempo definido, mas em geral são configuradas com característica inversa, ou seja, quanto maior o nível de corrente, menor o tempo de atuação.

A Figura 8 mostra curvas características desse tipo de proteção. Como pode ser percebido pela análise da curva de proteção, quanto maior o nível de curto-circuito, ou seja, da corrente, menor é o tempo de atuação do relé.

Figura 8 – Gráfico de curvas típicas de proteção de sobrecorrente temporizada



4.3 Exigências da Norma Técnica da CEMAR quanto a Proteção

Diante da necessidade de acompanhar as novas tendências nas redes de distribuição e adequar-se a inserção da microgeração distribuída ao longo de suas redes elétricas, a CEMAR viu a necessidade de preparar-se para este momento.

Desta forma, a CEMAR resolveu estabelecer uma norma técnica que orientasse tanto os consumidores interessados na implantação de sistemas de microgeração distribuída quanto aos engenheiros e técnicos responsáveis pela análise de projetos de clientes e estudos de regulação e proteção do sistema elétrico.

Para isso, a CEMAR participou ativamente do Grupo de Trabalho sobre Geração Distribuída da ABRADDEE (Associação Brasileira de Distribuidoras de Energia Elétrica) que reuniu diversos agentes do setor elétrico a fim de discutir sobre o assunto e os requisitos necessários para conexão da microgeração distribuída de forma a padronizar as principais informações e exigências que constam nas Normas Técnicas de conexão.

Neste grupo foram discutidos os diversos modos de conexão desses geradores na rede de distribuição das distribuidoras, as proteções que deveriam compor os sistemas e os tempos envolvidos para religação do sistema de microgeração distribuída visando manter a integridade dos ativos de elétricos das distribuidoras de energia e também os sistemas de microgeração distribuída.

A partir daí, foi redigida a Norma Técnica de Conexão de Microgeração Distribuída ao Sistema de Baixa Tensão (NT 16.020.00) que concentra as exigências da CEMAR quanto a inserção da microgeração distribuída em sua rede de distribuição. Esta norma apresenta uma série de exigências principalmente com relação aos aspectos de proteção do sistema elétrico (CEMAR, 2012).

4.3.1 Forma de Conexão

Os acessantes deverão ser interligados ao sistema elétrico de baixa tensão no mesmo ponto de conexão de sua unidade consumidora.

Além disso, a potência instalada da microgeração é limitada à carga instalada da unidade consumidora, sendo que a máxima potência permitida para uma unidade consumidora monofásica é de 12 kW e de uma unidade consumidora trifásica 75 kW, conforme Tabela 3 (CEMAR, 2012).

Tabela 3 - Forma de Conexão em Função da Potência

CARGA INSTALADA DA UNIDADE CONSUMIDORA	POTÊNCIA INSTALADA DA MICROGERAÇÃO	FORMA DE CONEXÃO
≤ 12 kW	< 12 kW	Monofásico ou Trifásico
12 a 75 kW	12 a 75 kW	Trifásico

Fonte: CEMAR, 2012

Para os geradores que utilizam um inversor como interface de conexão, tais como geradores solar fotovoltaicos, aerogeradores ou microturbinas deverão basear-se no esquema simplificado mostrado na Figura 9.

Os inversores devem necessariamente ser certificados pelo Programa Brasileiro de Certificação do INMETRO de inversores para Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCR). Excepcionalmente até que o processo de etiquetagem do INMETRO esteja consolidado, poderão ser aceitos inversores que apresentem certificados dos laboratórios internacionais acreditados pelo INMETRO (CEMAR, 2012).

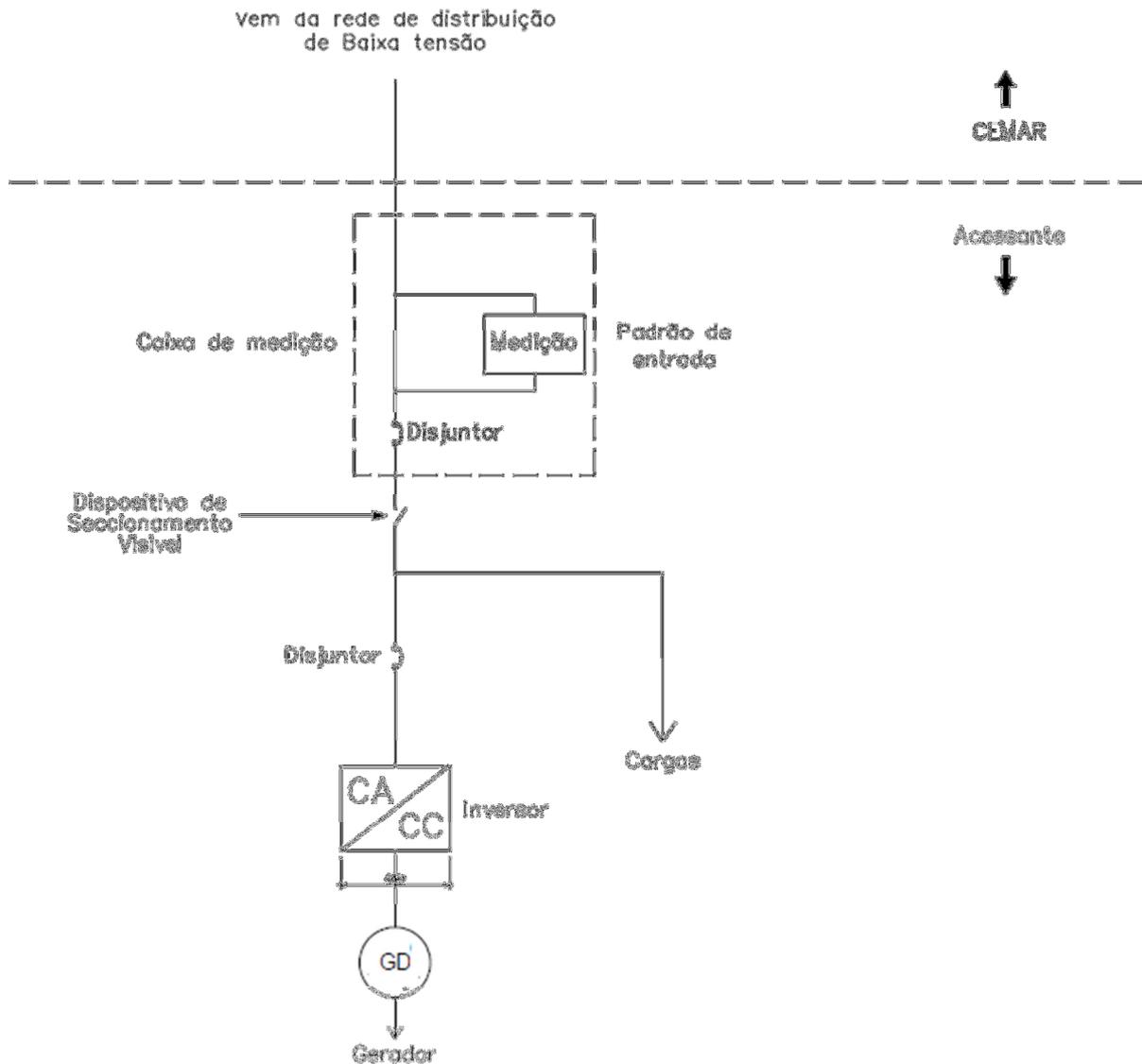
Os ensaios que devem ser realizados para os inversores são (INMETRO, 2011):

1. Ensaio em condições normais:
 - a. Autoconsumo;
 - b. Eficiência, distorção harmônica, regulação de tensão e frequência;
 - c. Sobrecarga.
2. Ensaio em condições extremas:
 - a. Proteção contra inversão de polaridade;
 - b. Proteção contra curto-circuito na saída;

- c. Eficiência, distorção harmônica, regulação de tensão e frequência em ambientes a 40° C.

Para cada um desses ensaios existe um roteiro a ser seguido durante os testes para que o inversor seja aprovado.

Figura 9 – Forma de conexão do acessante através de inversor à rede de baixa tensão da CEMAR



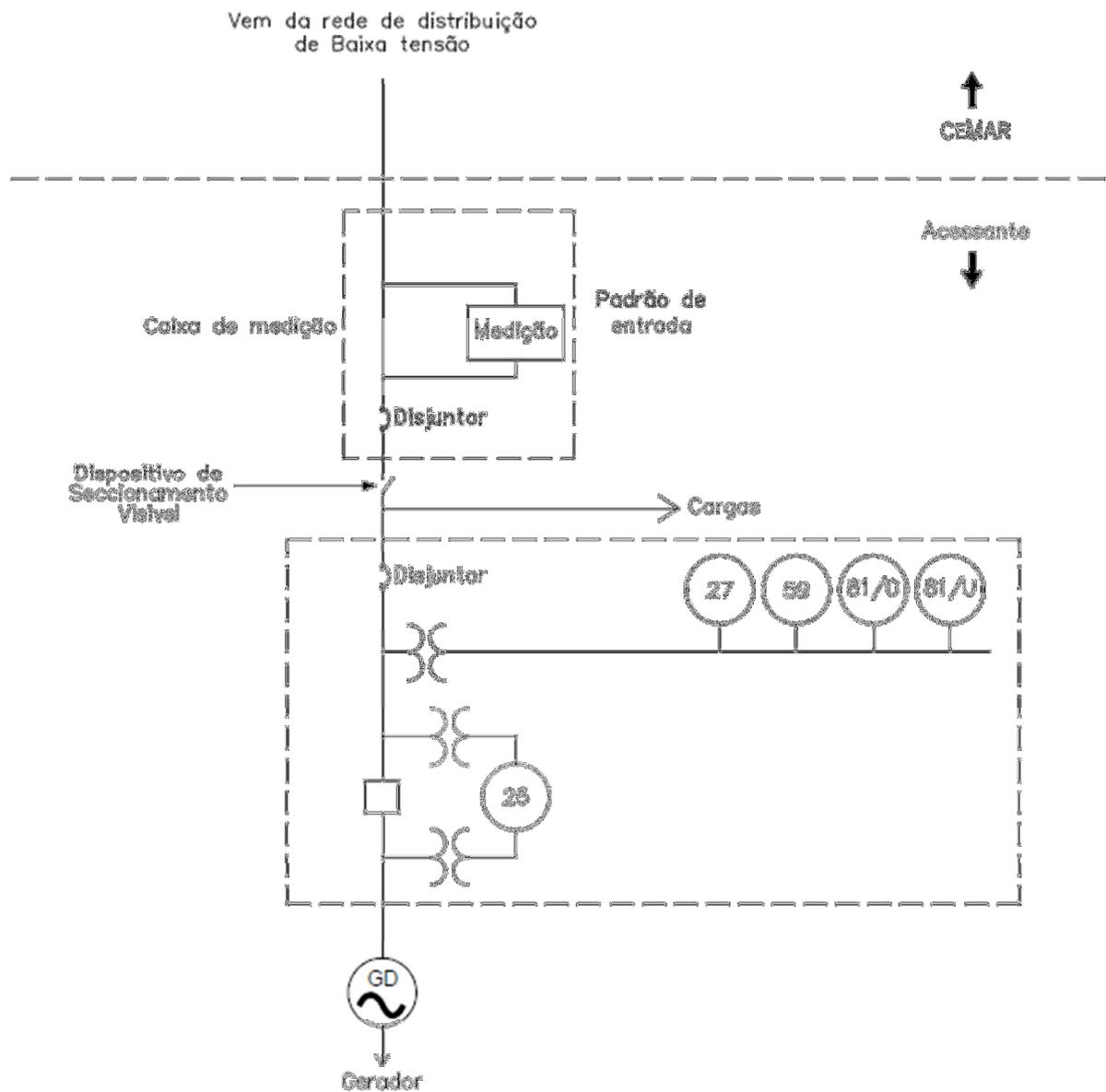
Fonte: CEMAR, 2012

Para os casos em que a conexão do gerador não utiliza um inversor como interface de conexão, como os geradores síncronos ou assíncronos, normalmente utilizados em turbinas hidráulicas ou térmicas, o esquema de ligação deve ser baseado na configuração mostrada na Figura 10.

Para estes casos, é necessário utilizar fonte auxiliar para alimentação do sistema de proteção. Deverá ser utilizado um sistema “no-break” com potência mínima de 1.000 VA de forma a não haver interrupção na alimentação do sistema de proteção (CEMAR, 2012).

Adicionalmente deve ser previsto trip capacitivo.

Figura 10 – Forma de conexão do acessante sem utilização de inversor à rede de baixa tensão da CEMAR.



Fonte: CEMAR, 2012

4.3.2 Dispositivo de Seccionamento Visível

A norma da CEMAR exige que um dispositivo de seccionamento visível (DSV) seja instalado após a caixa de medição do padrão de entrada. Este dispositivo deve ter capacidade de condução e abertura compatível com a potência da unidade geradora.

Este dispositivo é de extrema importância para a segurança das equipes de manutenção da rede elétrica. Nas manutenções preventivas da rede, este dispositivo é a segurança para o eletricitista que a unidade geradora está desconectada da rede evitando uma energização acidental e por conseguinte um risco a atividade exercida pelos eletricitistas.

4.3.3 Requisitos de Proteção

A definição dos requisitos de proteção é de extrema importância para garantir o perfeito funcionamento da microgeração distribuída e da rede de distribuição das concessionárias de energia.

Os requisitos de proteção exigidos pela norma da CEMAR estão descritos na Tabela 4:

Tabela 4 - Requisitos de Proteção para os sistemas de Microgeração Distribuída

REQUISITO DE PROTEÇÃO	POTÊNCIA INSTALADA ATÉ 75 kW
Elemento de desconexão	Sim
Elemento de interrupção	Sim
Proteção de sub e sobretensão	Sim
Proteção de sub e sobrefrequência	Sim
Proteção de sobrecorrente	Sim
Relé de sincronismo	Sim
Anti-ilhamento	Sim

Fonte: CEMAR, 2012

O elemento de desconexão é o Dispositivo de Seccionamento Visível descrito no item anterior.

O elemento de interrupção é um elemento automático acionado por proteção.

Nos sistemas que se conectam à rede através de inversores, as proteções relacionadas na tabela acima podem estar inseridos neste dispositivo, sendo a redundância de proteções desnecessárias.

Para sistemas que se conectem a rede sem a utilização de inversores (centrais térmicas ou hidráulicas) os ajustes recomendados das proteções são os apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Ajustes Recomendados das Proteções

REQUISITO DE PROTEÇÃO	POTÊNCIA INSTALADA ATÉ 75 kW	TEMPO MÁXIMO DE ATUAÇÃO
Proteção de subtensão (27)	0,8 p.u.	5 seg
Proteção de sobretensão (59)	1,1 p.u.	5 seg
Proteção de subfrequência (81U)	59,5 Hz	5 seg
Proteção de sobrefrequência (81O)	60,5 Hz	5 seg
Proteção de sobrecorrente (50/51)	Conforme padrão de entrada de energia	N/A
Relé de Sincronismo (25)	10o 10% tensão 0,3 Hz	N/A
Anti-ilhamento (78 ou Rocoff df/dt)	< 12 kW	N/A

Fonte: CEMAR, 2012

Esses ajustes são muito importantes para que haja o corte de fornecimento de energia por parte do gerador distribuído caso as condições da rede distribuição estejam abaixo de alguns requisitos de funcionamento normal. O ilhamento não é permitido, sob qualquer circunstância.

Caso o proprietário da microgeração distribuída manifeste o interesse em implantar ajustes diferentes do apresentado, esta solicitação deve ser efetuada formalmente à CEMAR de forma que a distribuidora possa analisar e verificar se não tem maiores implicações na proteção da rede elétrica.

Deve ser destacado também que o gerador distribuído pode reduzir a zona de atuação dos relés de proteção. Para os casos de falta de alta resistência onde a mesma está localizada após a geração distribuída, esta pode ser “alimentada” pelo gerador, ocasionando em pequena variação de corrente vista pelo relé de proteção e a possível não atuação do equipamento de disjunção.

4.3.4 Proteções relacionadas à Frequência

O sistema de microgeração distribuída deve operar em sincronismo com a rede elétrica e dentro dos limites de frequência definidos na Norma da CEMAR.

Para os sistemas que se conectam a rede elétrica através de inversores quando a frequência atingir valores abaixo de 57,5 Hz, o sistema de geração deve cessar o fornecimento de energia para a rede elétrica em até 0,2 segundos. Nestes casos, o sistema somente deve voltar a fornecer energia à rede elétrica 180 segundos após a frequência retornar para 59,9 Hz.

Além disso, quando a frequência da rede ficar entre 60,5 e 62 Hz, a microgeração distribuída deve limitar a potência ativa injetada na rede. O sistema somente deve retornar a injetar potência ativa na capacidade máxima quando a frequência retornar ao patamar de 60 Hz \pm 0,05 Hz por no mínimo 300 segundos.

Para os casos em que a frequência da rede ultrapassar 62 Hz, o sistema de microgeração distribuída deve cessar a injeção de potência na rede em até 0,2 segundos e somente deve retornar a injetar após 180 segundos que o sistema ficar abaixo de 60,1 Hz (CEMAR, 2012).

4.3.5 Proteção contra Ilhamento

Para prevenir o ilhamento, um sistema de geração distribuída conectado à rede deve cessar o fornecimento de energia, independentemente das cargas ligadas ou ter outros geradores distribuídos ou não no mesmo circuito em até 2 segundos após a perda da rede (CEMAR, 2012).

Após a desconexão devido a uma condição anormal da rede, o sistema de microgeração distribuída não pode retornar o fornecimento de energia à rede elétrica (reconexão) por um período mínimo de 180 segundos após a retomada das condições normais de tensão e frequência da rede.

Este tempo para reconexão é necessário para garantir que a rede está estabilizada e os reguladores de tensão e bancos de capacitores estejam no estado desejável.

4.3.6 Proteção contra curto-circuito

O sistema de microgeração distribuída deve possuir dispositivo de proteção contra sobrecorrentes, a fim de limitar e interromper o fornecimento de energia, bem como proporcionar proteção a rede da CEMAR contra eventuais defeitos a partir do sistema de geração distribuída.

Tal proteção deve ser coordenada com a proteção geral da unidade consumidora, através de disjuntor termomagnético, localizado eletricamente antes da medição.

O sistema de microgeração distribuída deve ser capaz de suportar religamento automático. O tempo de religamento automático varia de acordo com o sistema de proteção adotado e o tipo de rede de distribuição (urbana ou rural), podendo variar de 500 milissegundos a 60 segundos.

4.3.7 Sinalização de segurança

Junto ao padrão de entrada de energia, junto a caixa de medição e proteção, deverá ser instalada uma placa de advertência com os seguintes dizeres: “CUIDADO – RISCO DE CHOQUE ELÉTRICO – GERAÇÃO PRÓPRIA”.

Esta placa deverá ser confeccionada em PVC com espessura mínima de 1 mm conforme modelo apresentado na Figura 11.

Figura 11 – Modelo de placa de advertência de microgeração distribuída



Fonte: CEMAR, 2012

CAPÍTULO 5

MICROGERAÇÃO DISTRIBUÍDA - O ESTUDO DE CASO DA CEMAR: ESTADO ATUAL E PERSPECTIVAS PARA O FUTURO

Os sistemas de microgeração distribuída mudam totalmente a forma como as Distribuidoras de Energia passam a interagir com os seus clientes.

Anteriormente, os clientes eram agentes totalmente passivos, ou seja, apenas consumiam a energia elétrica fornecida pelas Distribuidoras. Nesta configuração o fluxo elétrico das redes é unidirecional o que facilita os estudos de regulação e proteção do sistema elétrico.

Com a inserção da microgeração distribuída na rede elétrica das distribuidoras de energia deve-se realizar uma série de reformulações na forma de trabalhar e lidar com o sistema elétrico. Dentre estas mudanças destacamos:

- Os estudos de proteção dos alimentadores tornam-se mais complexos visto que não mais existirá uma única fonte e fluxo unidirecional na rede de baixa tensão;
- Os estudos de regulação dos alimentadores também tornam-se mais complexos e a revisão dos ajustes de reguladores de tensão deverão ser realizados;
- Alguns trechos de alimentadores e circuitos de baixa tensão que anteriormente estavam no fim do circuito e portanto apresentavam bitola dos cabos pequena, provavelmente precisam de reforço para comportar um fluxo maior de corrente neste trecho;
- As programações de manutenção da rede elétrica das distribuidoras sejam elas, corretivas ou preventivas, devem levar em consideração a presença da microgeração distribuída e, portanto um possível risco de energização acidental do circuito de média e baixa tensão pelo gerador;

Diante de todas essas mudanças, as distribuidoras tiveram que preparar-se. Foram elaboradas normas técnicas para disciplinas os projetos dos clientes e sua análise por parte da CEMAR. Foram reformulados fluxos internos para atendimento de demandas desta natureza, análise de projetos e orientação dos clientes.

Sem dúvidas, o advento da microgeração distribuída é o fator de maior impacto técnico nas distribuidoras de energia dos últimos anos e este impacto está apenas no início visto que a tendência é a proliferação desses sistemas o que potencializa ainda mais os seus efeitos sobre o sistema elétrico.

De qualquer forma, as distribuidoras de energia e seu corpo técnico devem preparar-se para lidar com a Geração Distribuída já que é um caminho sem volta.

Apresentamos a seguir as principais ações da CEMAR para lidar com essa nova realidade, o estado atual da CEMAR em relação a projetos de microgeração distribuída que estão implantados no Maranhão e as perspectivas da Geração Distribuída no Brasil e no mundo.

5.1 CEMAR e a Geração Distribuída

Diante da realidade do advento da microgeração Distribuída e da tendência de larga aplicação pelos consumidores, a CEMAR vem realizando uma série de ações para preparar-se.

5.1.1 Participação Ativa no Grupo de Trabalho de Geração Distribuída da ABRADEE

A ABRADEE dentro de suas atribuições estimulou e criou um Grupo de Trabalho específico para tratar do tema da Geração Distribuída.

Diversas distribuidoras de energia fazem parte deste grupo entre elas a CEMAR.

O principal objetivo deste grupo é discutir entre as diversas empresas participantes a melhor forma de lidar com geração distribuída de forma que se possa

estabelecer um padrão técnico e tratamento comercial semelhante entre as diversas empresas. Além disso, é uma forma de reunir as empresas para troca de experiência.

Entre os principais pontos discutidos sistematicamente pelo grupo estão:

- Critérios de acesso e controle da microgeração distribuída;
- Formas de conexão;
- Proteção e estudos estáticos e dinâmicos na Distribuição;
- Elaboração de Normas de Conexão;
- Avaliação de desempenho de relés de proteção anti-ilhamento em sistemas de geração distribuída;
- Religamentos automáticos em sistemas com geração distribuída;
- Relacionamento Comercial – Parecer de acesso e termo de relacionamento operacional;
- Avaliação dos sistemas de geração distribuída em outros países;
- Perspectivas para os sistemas de geração distribuída para o Brasil.

Ou seja, o Grupo de Trabalho permite uma troca de experiência muito rica e que traz vários aspectos positivos para a CEMAR principalmente na preparação para este novo momento. É essencial a continuidade da CEMAR neste Grupo de Trabalho.

5.1.2 Norma Técnica da Microgeração Distribuída

Outro aspecto muito importante para o bom funcionamento dos sistemas de microgeração distribuída e a minimização dos impactos sobre a rede elétrica da distribuidora, em especial a CEMAR, é apresentar uma Norma Técnica abrangente e disciplinadora sobre o acesso desses sistemas.

A Norma Técnica da CEMAR NT.16.020 (Conexão de Microgeração Distribuída ao Sistema de Baixa Tensão) foi publicada em Dezembro de 2012 e foi baseada nos principais pontos discutidos dentro do Grupo Técnico de Geração Distribuída.

A norma técnica regulamenta a forma física de conexão desses sistemas à rede elétrica, os aspectos de proteção que devem ser configurados, limites e tempos que devem ser utilizados, além de outras informações já apresentadas no capítulo anterior.

Percebe-se que a Norma Técnica da CEMAR em relação ao tema Microgeração Distribuída está coerente às normas técnicas de outras concessionárias do Brasil, como CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais) e COPEL (Companhia Paranaense de Energia) e de outros países.

5.1.3 Procedimentos Operacionais

A CEMAR também preparou um Procedimento Operacional de forma a estabelecer a forma de atendimento dos pedidos de conexão da microgeração distribuída na rede elétrica da CEMAR. O mesmo foi baseado em critérios estabelecidos pela ANEEL, principalmente em relação aos prazos das diversas etapas (ANEEL, 2012).

Resumidamente, o fluxo consiste do seguinte sequenciamento:

1. Consumidor entra em contato com a Distribuidora de energia para fazer a Solicitação de Acesso ao sistema elétrico;
2. A Distribuidora de energia analisa o ponto em que o cliente deseja conectar-se e emite um Parecer de Acesso. Este deve ser emitido em até 30 dias após a solicitação formal do cliente.
3. Após a emissão do Parecer de Acesso, o consumidor está autorizado a instalar o seu sistema de microgeração distribuída e assim que concluir deve procurar novamente a distribuidora solicitando a vistoria do sistema;
4. A partir da solicitação de vistoria, a concessionária tem o prazo de 30 dias para realizar a vistoria em campo, onde é observada a aderência entre o projeto construído e a Norma Técnica da CEMAR.
5. Após a vistoria, a distribuidora deve elaborar um Relatório de Vistoria em até 15 dias, onde devem constar todas as possíveis inconformidades do sistema de geração instalado.

6. Após sanadas todas as ressalvas do relatório de vistoria, se houver, a distribuidora tem o prazo de 7 dias para aprovar o ponto de conexão e efetiva conexão da microgeração distribuída com a instalação do novo medidor que deve ser bidirecional para que o cliente faça jus o Sistema de Compensação de Energia Elétrica.

O Procedimento Operacional para atendimento as solicitações de conexão de Microgeração Distribuída é de extrema importância para disciplinar os prazos e a forma de atuação tanto do consumidor quanto da distribuidora de energia. Na Figura 12 pode ser evidenciado o fluxo de atendimento comercial desenhado pela ANEEL.

Figura 12 – Fluxo de atendimento comercial aos processos de microgeração distribuída



Fonte: VIEIRA, 2013

5.1.4 Workshops Internos

Outra atividade que a CEMAR vem patrocinando para capacitar o seu corpo técnico e discutir o tema de forma a alinhar conceitos é através da realização de Workshop técnico sobre o tema para discussão do assunto.

A primeira versão deste evento foi realizada no final de 2013 na sede da CEMAR com a presença de todo o corpo técnico envolvido com o tema, além de instituições de ensino e empresas envolvidas com o tema. O evento foi chamado de 1º Workshop *Smart Grid* – Novas Tecnologias da CEMAR em Redes Inteligentes e Geração Distribuída. Segue programação na Figura 13.

Figura 13 – Programação do 1º Workshop de Smart Grid da CEMAR

CONVITE

1º Workshop Smartgrid

Novas tecnologias da CEMAR em Redes Inteligentes e Geração Distribuída

2013

A CEMAR TAMBÉM NÃO PARA DE INOVAR.

A Executiva de Eficiência e Inovação tem o prazer de convidar você para o 1º Workshop SmartGrid. Um evento pioneiro que vai tratar de dois importantes temas: Investimentos em Novas Tecnologias de Redes e Geração Distribuída. Não deixe de comparecer. Confira a programação e garanta seu lugar.

Programação:

8h às 08h15	Abertura Oficial com a Palavra do Diretor.	Chrysthyhan Gonçalves de Almeida/ José Carlos Alves do Nascimento
8h15 às 8h45	Novas tecnologias em Smart Metering / Grid: Desmistificando conceitos e tendências.	Moises Varão Pinto
8h45 às 09h15	Geração Distribuída: Perspectiva regulatória, experiências / Desafios e panorama atual da CEMAR.	Nierbeth Costa Brito
9h15 às 09h45	Redes Inteligentes: Futuro, novas tecnologias, perspectivas regulatórias e iniciativas no Brasil.	Júlio César Mendes
9h45 às 10h05	Projeto de P&D Smart Integração: Entrega de produto do esquematizador de redes.	Palestrante - PSL
10h05 às 10h20	Coffee break.	
10h20 às 10h40	Projeto de P&D Smart Integração: Integração de equipamentos à Rede Inteligente (Smartgrid).	Palestrante - IFCE
10h40 às 11h10	Automação de Redes Eficientes: tendências, iniciativas de sucesso.	Ronnie Loreiro
11h10 às 11h40	Sistema de Automação da Distribuição: Restabelecimento automática da rede (self healing).	Emanuel Fernandes
11h40 às 12h10	Projeto Bairro Eficiente na CEMAR: Experiências bem sucedidas no Brasil em Smartgrid e contribuição da CEMAR (Projeto de P&D).	Julio / Ronnie / José Messias / Lucas
12h10 às 12h20	Lançamento da Revista de P&D CEMAR.	José Carlos Alves do Nascimento
12h20 às 12h50	Mesa Redonda: Próximos passos dessa tecnologia no Brasil - Tendências.	Todos os palestrantes e a participação da platéia

Local: Auditório da CEMAR - Alameda A, Qd SQS, nº 100, Loteamento Quitandinha Altos do Calhau - São Luís - MA | Dia 20 de dezembro, das 8h às 12h50.

Fonte: Divulgação Interna CEMAR. Dezembro, 2013

Especificamente sobre Geração Distribuída, houve a apresentação de um trabalho com o título “Geração Distribuída: perspectivas regulatórias, experiências, desafios e panorama atual da CEMAR”.

O Workshop atingiu o objetivo que a empresa projetou visto que trouxe à tona uma série de conceitos inovadores, mas que estão cada vez mais no dia-a-dia do corpo técnico da CEMAR e possibilitou a troca de experiência e alinhamento entre diversos setores sobre os mais variados temas.

Em Julho de 2014 deve acontecer o 2º Workshop de *Smart Grid* onde serão apresentados os avanços em relação à última versão e uma nova análise sobre as perspectivas de cada tecnologia.

5.1.5 Participação em Eventos (Simpósios, Workshops Externos)

A participação em eventos dedicados ao tema é de suma importância para capacitar o corpo técnico da CEMAR sobre o tema e proporcionar a troca de experiência entre empresas do setor elétrico.

Além dos seminários internos que serão promovidos pela CEMAR, devemos participar de importantes eventos a nível nacional, como o Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos (SBSE), promovido pela Sociedade Brasileira de Automática (SBA).

Além do SBSE, a CEMAR deve participar do SENDI (Seminário Nacional das Distribuidoras de Energia Elétrica), considerado o principal encontro técnico das empresas distribuidoras de energia elétrica do país. Este Seminário acontecerá em Santos em Novembro e terá um temário técnico específico sobre Geração Distribuída.

Neste Seminário em relação à Geração Distribuída está previsto a discussão sobre temas como (SENDI, 2014):

- Dinâmica Operativa da Rede com geração distribuída;
- Requisitos e recursos de proteção, automação e medição em redes com geração distribuída;

- Qualidade de energia em redes com geração distribuída;
- Fontes alternativas e renováveis para aplicação na geração distribuída;
- Análise e aspectos regulatórios.

Será, portanto uma grande oportunidade da CEMAR absorver mais conhecimentos sobre o tema, conhecer as tendências e preparar-se para operar o sistema elétrico com a presença da geração distribuída.

5.2 Estado Atual de Projetos de Microgeração Distribuída na CEMAR

O avanço dos projetos de geração distribuída, principalmente a microgeração distribuída vem sendo acompanhado por diversos órgãos governamentais e a iniciativa privada em geral.

O Grupo Técnico de Geração Distribuída da ABRADEE também vem desempenhando este papel. Segundo dados levantados por este grupo até setembro de 2013, 131 processos de pedido de acesso haviam sido abertos para análise das distribuidoras de energia elétrica (GT-GD ABRADEE, 2013).

Estes processos estão concentrados principalmente na Região Sudeste do país, em especial os estados de São Paulo, com 22 processos abertos e Minas Gerais com 18 processos abertos até setembro, conforme pode ser evidenciado na Figura 14.

Figura 14 - Quantidade de Processos de Mini e Microgeração Distribuída abertos até Setembro 2013 no Brasil



Fonte: GT-GD ABRADDEE, 2013.

Na Região Nordeste o destaque é o estado do Ceará com 14 processos em aberto.

Dentro da área de concessão da CEMAR, até setembro apenas um processo havia sido aberto.

Trata-se de um processo de microgeração distribuída através de geradores eólicos com potência instalada de 2,6 kW e interligado na rede de baixa tensão da CEMAR, mais especificamente no alimentador 01C2 da subestação Araçagy (CEMAR, 2013a).

Este processo foi analisado, emitido o parecer de acesso, registrado na ANEEL, realizado a inspeção e aprovado para ligação. Ele encontra-se em funcionamento, porém não há ainda registro de potência injetada na rede da CEMAR, ou seja, toda a energia produzida por este sistema de microgeração distribuída está sendo utilizada para alimentar as cargas elétricas da unidade consumidora.

Este fato repete-se para os outros casos de microgeração distribuída no Brasil, ou seja, nenhum dos projetos instalados havia gerado crédito mensal suficiente até Outubro de 2013, quando foi realizado o levantamento, para zerar a conta de energia elétrica das unidades consumidoras através do mecanismo de compensação de energia. De qualquer forma, todas as unidades consumidoras tiveram uma redução na conta de energia baseada na Resolução 482/2012.

No mês de Novembro de 2013, mais um projeto foi protocolado na CEMAR solicitando análise para emissão de parecer de acesso para microgeração distribuída. Trata-se de um projeto de geração utilizando a energia solar fotovoltaica de 3,62 kW de potência de saída máxima conectado na rede de baixa tensão da CEMAR. Esta geração está conectada no alimentador 01C2 da Subestação São Francisco. Até a primeira quinzena de janeiro este projeto ainda não havia entrado em operação (CEMAR, 2013b).

No caso do Rio de Janeiro, a Light já interligou 5 projetos de microgeração distribuída em sua rede de baixa tensão. Todos esses projetos apresentam como fonte a energia solar fotovoltaica com potências instaladas variando de 1,5 a 12,6 kW. Além desses 5 processos, haviam até novembro de 2013 mais 4 processos sendo estudados pela Light para emissão do parecer de acesso (LIGHT, 2013).

5.3 Entraves para Implantação da Microgeração Distribuída

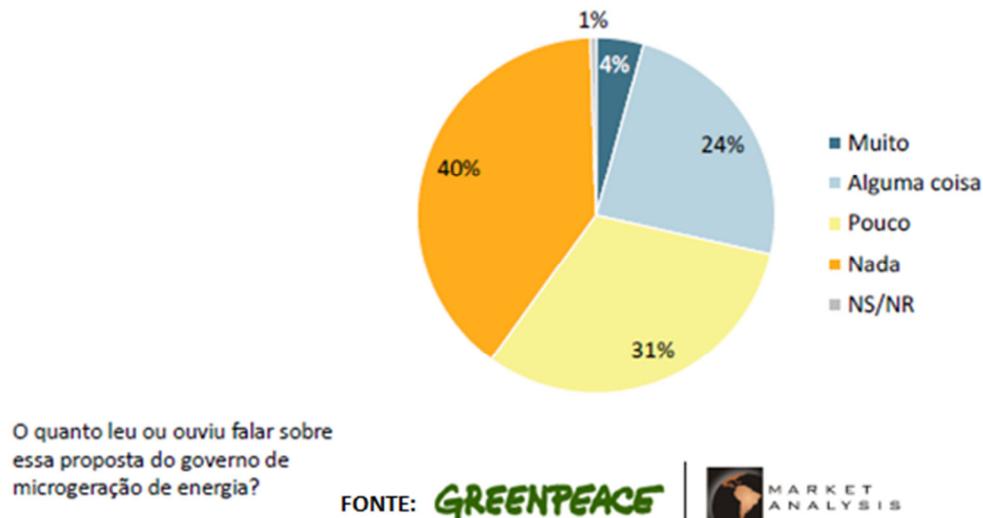
Apesar dos avanços na legislação para tentar estimular o investimento na geração distribuída, ainda existem alguns entraves neste processo, o que aumenta o risco dos investidos dificultando uma massificação na utilização dessa tecnologia. Apresentamos nas seções a seguir alguns desses entraves.

5.3.1 Pouco Conhecimento da População sobre Geração Distribuída

Segundo pesquisa encomendada pelo Greenpeace ao Instituto Market Analysis, o tema Microgeração Distribuída ainda é muito pouco conhecido no Brasil (MARKET ANALYSIS, 2013).

Ao avaliar o quanto já ouviu falar sobre a proposta do governo de microgeração distribuída a partir de energia renovável, um pouco menos de 3 em cada 10 brasileiros afirmam conhecer muito ou alguma coisa sobre o tema. A grande maioria (71%) afirma estar pouco ou nada ciente sobre a proposta, conforme pode ser visto na Figura 15.

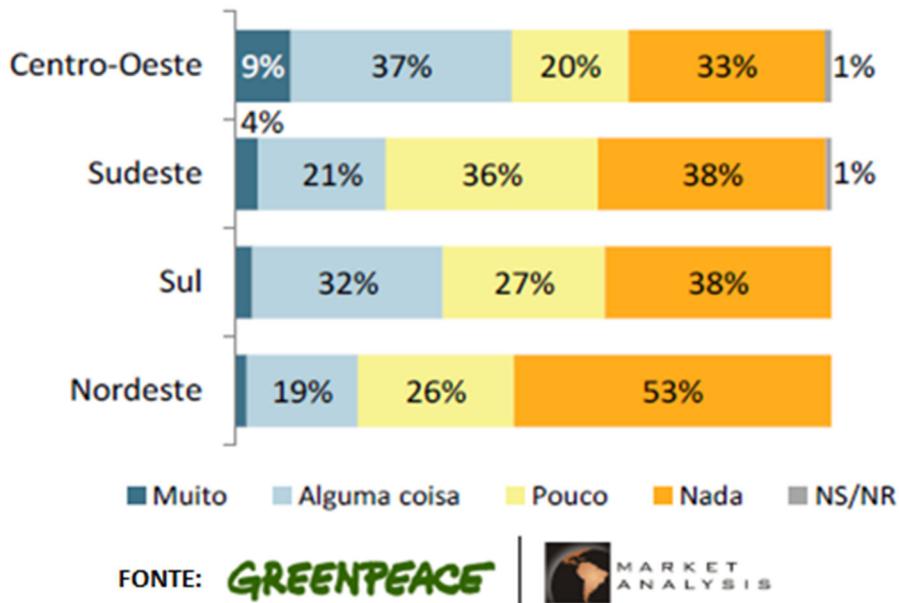
Figura 15 - Conhecimento da população da proposta oficial de microgeração distribuída segundo pesquisa realizada pela Market Analysis



Fonte: MARKET ANALYSIS, 2013

Quando abrimos o conhecimento pelas Regiões do Brasil, percebemos que a Região Nordeste tem o menor índice de conhecimento sobre o tema, apesar de ser uma das regiões do país que mais conhece sobre fontes alternativas do país em consequência dos diversos parques eólicos instalados no Nordeste. Apenas 21% dos nordestinos afirmaram conhecer muito ou alguma coisa sobre microgeração distribuída, enquanto no Centro-Oeste 46% alegam ter o mesmo conhecimento conforme pode ser visto na Figura 16.

Figura 16 - Conhecimento sobre microgeração distribuída por Região



Fonte: MARKET ANALYSIS, 2013

Apesar do pouco conhecimento em geral apresentado no Brasil, a grande maioria dos brasileiros apresenta boa receptividade e tem interesse em conhecer um pouco mais sobre o tema microgeração distribuída. Cerca de 90% apresentaram esse interesse.

Verifica-se que a microgeração distribuída é muito pouco difundida no país, o que limita bastante o seu raio de atuação, ou seja, hoje a maioria da população brasileira não conhece nada sobre o tema e este percentual de desconhecimento é muito maior na Região Nordeste, como pode ser visto na Figura 16. Este é, portanto, o principal entrave para a adoção da microgeração distribuída pelos consumidores de energia elétrica no Brasil.

Outra pesquisa com consumidores foi realizada pelo Projeto Estratégico de P&D denominado de Programa Brasileiro de Redes Inteligentes (P&D ANEEL, 2013).

Nesta pesquisa foi verificado o conhecimento e o interesse dos consumidores em investir na mini e microgeração distribuída. Foi constatado que os consumidores só fazem o investimento em um primeiro momento pensando em uma vantagem econômica individual e não para ajudar o país a ser autossuficiente ou para proteger

o meio-ambiente em relação a construção de novas usinas hidrelétricas ou térmicas a partir de combustíveis fósseis. Foi possível compreender que o apelo ambiental não é forte para levar os brasileiros a investir na microgeração distribuída (P&D ANEEL, 2013).

5.3.2 Linhas de Financiamento Limitadas para Investimentos em Microgeração Distribuída

Outro grande entrave para a disseminação da microgeração distribuída é a disponibilidade de linhas de crédito para financiamento do investimento necessário para instalação do sistema.

O investimento nesse tipo de sistema não é tão baixo e costuma ter retorno entre 5 e 10 anos, o que mostra a necessidade de linhas de créditos para estimular os interessados a utilizar o sistema.

Na pesquisa realizada pela Market Analysis (2013), 87% das pessoas afirmam que investiria na microgeração de energia caso houvesse linhas de crédito com juros baixos.

Em pesquisa realizada pelo Projeto Estratégico de P&D denominado Programa Brasileiro de Redes Inteligentes (2013), identificou-se que a relação custo-benefício ainda não encontra-se atrativa para motivar o consumidor em prol da microgeração. Tal motivação apenas se tornaria mais evidenciada a partir de considerável aumento na tarifa na ponta. Conforme relatos, na Europa, a figura do “prossumidor” (consumidor proativo) seria uma realidade por dois aspectos: a necessidade de coparticipação na geração e a maior consciência ambiental já inerente a maioria daquela população, fatores esses alheios à realidade brasileira. Acredita-se que apenas a equação financeira pode alterar os hábitos brasileiros, ou seja, apenas com a redução da tarifa fora da ponta e a elevação na ponta poderá estimular a adesão dos brasileiros à microgeração (P&D ANEEL, 2013).

5.3.3 Incidência Tributária

Além dos entraves já mencionados nas seções anteriores, a insegurança jurídica em relação à incidência tributária dos sistemas de microgeração distribuída desestimula o investimento no sistema.

Segundo comunicado enviado pelo CONFAZ (Conselho Nacional de Política Fazendária) à ANEEL, a base de cálculo do ICMS deve ser o consumo da unidade consumidora antes da compensação de energia. Ou seja, mesmo que a geração compense toda a energia consumida da distribuidora, o consumidor final teria que pagar o ICMS sobre o valor consumido e não sobre o valor faturado (CONFAZ, 2013).

Esta decisão é bastante polêmica e provocou reação dos principais fornecedores de produtos para implantação da microgeração distribuída.

Apesar da orientação do CONFAZ, alguns estados estão optando por não segui-la de forma a incentivar a instalação da geração distribuída. Um exemplo disso é o estado de Minas Gerais.

Em Minas Gerais, a Lei Estadual nº 20.824, de 31/07/2013, isenta de ICMS essa parcela de energia compensada através da microgeração distribuída. Desta forma, a base de cálculo para incidência do ICMS é o consumo faturado.

O Rio de Janeiro pode seguir o mesmo caminho, já que tramita o Projeto de Lei nº 2287/2013 com o objetivo de isentar de ICMS essa parcela de energia consumida pela unidade consumidora, mas compensada pela geração distribuída.

É esperado que outros estados do Brasil tenham a mesma iniciativa no sentido de incentivar essa fonte de geração de energia.

5.4 Iniciativas para Fomentar a Microgeração Distribuída

Em contrapartida aos entraves existentes para disseminar a utilização da microgeração distribuída por boa parte dos consumidores de energia elétrica, algumas iniciativas de empresas privadas têm sido fundamentais para fomentar esta área.

No Estado do Ceará um grupo de nove empresas que atuam no ramo de geração de energia renovável uniram esforços para derrubar alguns obstáculos que ainda emperram o mercado de geração distribuída no Brasil.

Sob coordenação do Sindenergia, sindicato vinculado à Federação das Indústrias do Estado do Ceará (FIEC), as duas principais linhas de ação estão vinculadas a incidência do ICMS sobre o consumo total e questões relativas ao financiamento dos empreendimentos.

A idéia é convencer o Governo do Estado do Ceará a não incidir ICMS sobre o consumo que foi compensado. Além disso, este grupo de empresas tem avançado em negociações com o BNB (Banco do Nordeste do Brasil) para massificar a utilização de recursos de uma das linhas de financiamento da instituição para projetos de pequena escala (mini e microgeração distribuída) utilizando fontes renováveis como energia solar e eólica.

CAPÍTULO 6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme já descrito em seções anteriores a microgeração distribuída é uma tendência que deve disseminar-se a médio e longo prazo. As distribuidoras de energia elétrica precisam preparar-se para este momento. O relacionamento com os consumidores será bastante diferente. Serão consumidores cada vez mais ativos e influentes no estado do sistema elétrico.

O modo com as distribuidoras de energia elétrica realizam os estudos de proteção e regulação de tensão de seus circuitos precisa ser revisto e adaptado à realidade de múltiplos geradores ao longo da rede elétrica. As ampliações de rede e obras de revitalização já devem contemplar topologias que permitam facilmente a agregação de geradores distribuídos ao longo da rede.

Neste momento, a união entre as distribuidoras de energia para discutir o assunto, trocar experiências, difundir as melhores práticas são fundamentais para o crescimento da qualidade e confiabilidade do setor elétrico.

O setor elétrico passou muito anos sem grandes mudanças na operação das redes elétricas das distribuidoras de energia. Com o advento das redes elétricas inteligentes e a microgeração distribuída as empresas precisam preparar-se para este novo momento que deve render bons frutos principalmente no item de qualidade da energia entregue aos consumidores, entretanto será um grande desafio convergir todas essas novidades e mudanças em normas técnicas e de procedimentos que possam atender os interesses das distribuidoras, do órgão regulador e dos consumidores.

Neste contexto, o papel político do governo e do ente regulador será decisivo. É preciso discutir e definir políticas públicas para fontes de financiamento dessa tecnologia, tributação da energia gerada pela microgeração distribuída e formas de compensação das distribuidoras pelos investimentos necessários para adaptação

das redes elétricas. O próprio tema microgeração distribuída tem que ser difundido e conhecido por parte da população de forma que a população possa conhecer e optar ou não pela adesão a esta tecnologia.

Deve ser discutido o impacto tarifário da ampla utilização da microgeração distribuída nas distribuidoras de energia elétrica. Do modo que a estrutura tarifária apresenta-se hoje e pelas regras atuais do setor elétrico, uma ampla utilização de microgeração distribuída baseada em energia solar fotovoltaica poderia levar muitas empresas do setor a ter problemas de caixa. Isto porque não há diferenciação tarifária para os consumidores do grupo B (conectados na baixa tensão), que é a maioria do setor. Desta forma, pouco importa se ele está consumindo a energia da distribuidora no horário de ponta ou fora ponta. Como a geração fotovoltaica produz energia apenas durante o dia (horário fora de ponta), a tendência é que não haja alteração alguma da necessidade de potência no horário de ponta, ou seja, além das distribuidoras terem suas receitas diminuídas pela Compensação de Energia (*Net-Metering*), ainda terão que manter o nível de investimento atual para atender os consumidores no horário de ponta.

Ou seja, o tema microgeração distribuída é muito importante inclusive para sobrevivência das empresas distribuidoras de energia e precisa ser bastante debatido na sociedade. Além dos impactos técnicos discutidos neste trabalho, é necessário debater os aspectos políticos e regulatórios e que é um bom tema para estudos futuros.

REFERÊNCIAS

ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. Brasília: ANEEL, 2005.

_____. **Resolução ANEEL nº 482/2012**. Brasília: ANEEL, 2012.

_____. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST**. Disponível em <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=82>. Acesso em: Dezembro, 2013.

_____. **PRODIST Módulo 8**. Disponível em http://www.aneel.gov.br/visualizar_texto.cfm?idtxt=1877. Acesso em Dezembro, 2013.

BENEDITO, RICARDO DA SILVA. **Caracterização da Geração Distribuída por Meio de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede, no Brasil, sob os Aspectos Técnico, Econômico e Regulatório**. 2009. Dissertação (Mestrado em Energia Elétrica). Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

CEMAR. COMPANHIA ENERGÉTICA DO MARANHÃO. **Norma Técnica de Conexão de Microgeração Distribuída ao Sistema de Baixa Tensão**. São Luís: Dezembro, 2012.

_____. **Parecer de Acesso de Geração Unidade BT 2859246**. São Luís: Maio, 2013.

_____. **Parecer de Acesso de Geração Unidade BT 1087916**. São Luís: Novembro, 2013.

CEPEL. Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. **Energia Eólica – Princípios e Tecnologia**. Rio de Janeiro: 2010

CONFAZ. Conselho Nacional de Política Fazendária. **Ofício nº 167/2013/CONFAZ/MF-DF – Resposta à ANEEL da Base de Cálculo ICMS**. Brasília: 2013.

COTOSCK, KELLY R. **Proteção de Sistemas Elétricos: Uma Abordagem Técnico-Pedagógica**. 2007. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2007.

EPE. EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira**. Rio de Janeiro: Maio, 2012.

_____. **Informe a Imprensa: Resultado do Leilão A-5 2012**. São Paulo: Dezembro, 2012.

_____. **Balço Energético Nacional 2013: Ano base 2012**. Rio de Janeiro: EPE, 2013.

FACURI, MICHELINE FERREIRA. **A Implantação de Usinas Hidrelétricas e o Processo de Licenciamento Ambiental: A Importância da Articulação entre os Setores Elétricos e de Meio Ambiente no Brasil**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, Dezembro, 2004.

FARQUI, THIAGO CORRÊA. **Modelo para Avaliação de Oportunidades de Oferta de Geração Distribuída**. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica). Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

FONTOURA, ROBERTO. **Inserção de Novas Fontes Renováveis e Redes Inteligentes no Planejamento da Operação**. In: Seminário Inserção de Novas Fontes Renováveis e Redes Inteligentes no Planejamento Energético Nacional. Rio de Janeiro: Setembro, 2012.

GT-GD ABRADDEE. Grupo Técnico de Geração Distribuída da ABRADDEE. **Informe sobre Estado Atual da Mini e Microgeração Distribuída no BRASIL**. Rio de Janeiro: Setembro, 2013.

HINRICHS, ROGER A.; KLEINBACH, MERLIN; REIS, LINEU BELICO. **Livro: Energia e Meio Ambiente**. 4 ed. São Paulo, 2011.

INMETRO. INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Portaria nº 004**. Brasília: Janeiro, 2011.

LIGHT. Micro e Minigeração **Distribuída na Light. Natureza Legal, Regulatória e Tributária**. Rio de Janeiro, 2013.

LUIZ, CICÉLI MARTINS. **Avaliação dos Impactos da Geração Distribuída para Proteção dos Sistemas Elétricos**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). 154 f. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

MARKET ANALYSIS. **Os brasileiros diante da microgeração de energia renovável**. Pesquisa de Mercado. São Paulo: 2013.

MASTERS, C. L. **Voltage Rise: The Big Issue When Connecting Embedded Generation to Long 11 kV Overhead Lines**. Power Engineering Journal, p. 5-12, Fevereiro, 2002.

MEHL, EWALDO L. M. **Qualidade de Energia Elétrica**. Notas de aula. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Curitiba: 2002.

MME. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Relatório Smart Grid – Grupo de Trabalho de Redes Elétricas Inteligentes**. Ministério de Minas e Energia. Brasília: 2011.

_____. **Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) 2022**. Ministério de Minas e Energia. Brasília: 2013

NASCIMENTO, KLAUS VIEIRA DO. **Metodologia de Análise de Variações de Tensão Causadas pela Proteção Anti-Ilhamento de Geradores Síncronos Distribuídos**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos: 2013.

NUROGLU, F. M.; ARSOY, A. B. **Voltage Profile and Short Circuit Analysis in Distribution Systems with DG**. In: IEEE Electric Power Conference (EPEC), Outubro, 2008, Vancouver, Canadá.

PADILHA, LUCAS NERY. **Análise Comparativa de Estratégias para Regulação de Tensão em Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica na Presença de Geradores Distribuídos**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos: 2010.

PARADELO JR, ROMILDO C. **Proteção de Sobrecorrente em Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica Através de Abordagem Probabilística**. 2006. 247 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade de São Paulo. São Paulo: 2006.

P&D ANEEL. P&D Estratégico da ANEEL, Programa Brasileiro de Redes Inteligentes. **Redes Elétricas Inteligentes no Brasil. Subsídios para um Plano Nacional de Implantação**. Rio de Janeiro: 2013.

REIS, LINEU BELICO DOS. **Livro: Geração de Energia Elétrica**. 2ª ed. São Paulo: 2010

SAIDIAN, A.; MIRABBASI, D.; HEIDARI, M. **The Effect of Size of DG on Voltage Flicker and Voltage Sag in Closed-loop Distribution System**. In: IEEE

Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA), 5, Outubro, 2010, Malásia

SBSE. Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos. **Programação Preliminar**. Disponível em <http://www.sbse.org.br/?op=programacao&l=PT-BR>. Acesso em: Janeiro, 2014.

SENDI. Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica. **Temário dos Trabalhos**. Disponível em <http://www.bvr.com.br/send/2014/publico/docs/temario.pdf>. Acesso em: Janeiro, 2014

VIEIRA, DANIEL, **Micro e Minigeração Distribuída no Brasil. A Geração de Energia como Agronegócio: a Microgeração e Minigeração Distribuída**. In: Congresso sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural, 9, Maio 2013, Florianópolis.

VIEIRA JR., J. C. M. **Metodologias para Ajustes e Avaliação de Desempenho de Relés de Proteção Anti-Ilhamento de Geradores Síncronos Distribuídos**. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica). UNICAMP, Campinas. 2006

VIRAL, RAJKUMAR; KHATOD, D.K. **Optimal Planning of Distributed Generation Systems in Distribution System: a Review**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Índia, Volume 16, Capítulo 7, p. 5146-5165, Setembro, 2012.

WASEEM, IRFAN. **Impacts of Distributed Generation on the Residential Distribution Network Operation**. 2008. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Virginia Tech University. Falls Church, Virginia: 2008.