UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE – FURG
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS, ADMINISTRATIVAS E CONTÁBEIS – ICEAC
CURSO DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS

Marcelo do Amaral Machado

A UTILIZAÇÃO DO SISTEMA DE MICROGERAÇÃO DE ENERGIA NO BRASIL: UMA ANÁLISE DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E DO SISTEMA NET METERING.

Rio Grande
2017

Marcelo do Amaral Machado

A UTILIZAÇÃO DO SISTEMA DE MICROGERAÇÃO DE ENERGIA NO BRASIL: UMA ANÁLISE DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E DO SISTEMA NET METERING.

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel, pelo curso de Ciências Econômicas da Universidade Federal do Rio Grande - FURG.

Orientador: Prof. Dr. Cassius Rocha de Oliveira

Assinatura do Orientador: _____

Rio Grande

2017

Marcelo do Amaral Machado

A UTILIZAÇÃO DO SISTEMA DE MICROGERAÇÃO DE ENERGIA NO BRASIL: UMA ANÁLISE DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E DO SISTEMA NET METERING.

Monografia apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel, pelo Curso de Ciências Econômicas da Universidade Federal do Rio Grande - FURG.

Aprovado em, 07 de dezembro de 2017.

BANCA EXAMINADORA

_____

Prof. Dr. Cassius Rocha de Oliveira - Orientador

_____

Prof. Dr. Rogério Piva da Silva - Membro

_____

Prof. Me. Vinícius Halmenschlager - Membro

Dedico esta monografia ao meu pai (*In memoriam*), que apesar de ter nos deixado cedo demais foi um grande incentivador do conhecimento e do aprendizado ajudando a me tornar quem eu sou hoje.

AGRADECIMENTOS

Devo agradecer especialmente a todos aqueles que considero minha família, que estiveram sempre a meu lado, incentivando de todas as formas possíveis ora com palavras de apoio outras, porém através de gestos que dispensam palavras. Sinto-me muito honrado em fazer parte dessa família.

Agradeço minha companheira Márcia, que em todos momentos, inclusive nos mais difíceis, se manteve ao meu lado com dedicação e carinho, incentivando e simplificando as situações complicadas. Ela me trouxe sempre confiança para seguir em frente e realizar meu sonho. Aos meus sogros Iane e Ivo que me acolheram como um filho e sempre se preocuparam com a minha formação.

Agradeço a todos os professores do curso que de alguma forma contribuíram para meu crescimento e amadurecimento como um cientista econômico.

Agradeço especialmente ao Professor Doutor Cassius Rocha de Oliveira que acreditou na minha capacidade para realizar e concluir esta monografia me apoiando incansavelmente.

Agradeço ainda a todos os meus colegas de formação, aqueles que por motivos pessoais não conseguiram permanecer no curso e aqueles que já estão formados, sou grato a todos.

"O Processo de destruição criadora é o fato essencial do capitalismo"

(Joseph Schumpeter)

RESUMO

O objetivo deste trabalho é analisar os impactos que a descentralização da geração de energia elétrica pode causar na matriz elétrica nacional. Diante do crescente aumento da demanda por energia elétrica causado pelo avanço tecnológico da sociedade moderna, das tendências para construção de uma economia sustentável de baixo carbono, de combate ao aquecimento global e da dificuldade para se manter o abastecimento que devido as alterações climáticas elevam o preço da tarifa e põe em risco o abastecimento dos grandes centros, se faz necessário a realização de uma mudança do sistema elétrico. Surge como alternativa a geração distribuída a partir de fontes renováveis. Através da geração distribuída o consumidor é capaz de gerar sua própria energia de forma descentralizada utilizando a rede elétrica para negociar sua produção através de um sistema de compensação, a partir de 2015 após a atualização da resolução normativa 482 que regulamenta esse modelo no Brasil essa modalidade vem experimentando um crescimento exponencial. Para entender melhor a revolução que está ocorrendo na geração, distribuição e consumo de energia elétrica procurou-se através deste trabalho mostrar o estado da arte da Geração Distribuída de energia no Mundo e no Brasil, analisando todos os aspectos políticos, econômicos e sociais que essa mudança poderá proporcionar aos consumidores de energia.

Palavra-chave: Geração Distribuída; Net Metering; Smart Grid; Energia Sustentável

ABSTRACT

This study aimed to analyze the impacts that decentralization of the electric power generation can cause to the national electric matrix. Growing demand for electric energy resulting from the technological advance of modern society, trends towards the construction of a sustainable low carbon economy, attempts to mitigate global warming and difficulty to maintain supplies due to climate change have raised prices and jeopardized the supply in large cities. Therefore, changes in the electric system must be carried out. An alternative is the distributed generation from renewable sources. It enables consumers to generate their own energy in a decentralized way by using the electricity grid to negotiate their production in a compensation system. This modality has been experiencing exponential growth in Brazil since 2015, when Norm 482 was updated. In order to better understand the revolution that has been occurring in electric energy generation, distribution and consumption, this study aimed to show the state of the art of Distributed Energy Generation in the world and in Brazil by analyzing political, economic and social aspects that may affect energy consumers.

Key words: Distributed Generation; Net Metering; Smart Grid; Sustainable Energy

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Estimativa de geração elétrica por fontes renováveis.....20
Figura 2 – Investimento em geração de energia elétrica.....21
Figura 3 – Capacidade de energia renovável no Mundo.....22
Figura 4 – Variação do consumo de energia versus PIB.....29
Figura 5 – Matriz elétrica brasileira.....31
Figura 6 – Consumo total de energia elétrica no Brasil.....32
Figura 7 – Potencial de geração solar fotovoltaica no Brasil.....33
Figura 8 – Sazonalidade do potencial de geração solar fotovoltaica.....34
Figura 9 – Número de Conexões x Número de consumidores com crédito.....47
Figura 10 – Conexão por tipo de fonte.....48
Figura 11 – Potência instalada por fonte.....48
Figura 12 – Evolução da potência instalada.....49
Figura 13 – Classes de consumo dos consumidores.....49
Figura 14 – Faixas de potência dos geradores.....50
Figura 15 – Modalidade de geração distribuída.....50
Figura 16 – Fatores motivadores da introdução de Smart Grids.....55
Figura 17 – Cobertura de estacionamento com placas fotovoltaicas.....63
Figura 18 – Diagrama da utilização da geração solar fotovoltaica.....64
Figura 19 – Curva de carga de um alimentador urbano.....65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ACL	Ambiente de Contratação Livre
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AMI	Automatic Meter Infrastructure
AMR	Automatic Meter Reading
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
COFINS	Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social
COP	Conferência das Partes
DEC	Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FEC	Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora
FGTS	Fundo de Garantia do Tempo de Serviço
GD	Geração Distribuída
GT	Grupo de Trabalho
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
INEE	Instituto Nacional de Eficiência Energética
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPTU	Imposto Predial e Territorial Urbano
KW	Kilowatt
KWh	Kilowatt Hora

MME	Ministério de Minas e Energia
MW	Megawatt
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PCHs	Pequenas Centrais Hidrelétricas
PIB	Produto Interno Bruto
PIS	Programa de Integração Social
PNE	Plano Nacional de Expansão de Energia
PROINFA	Programa de Incentivo a Fontes Alternativas
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica
PROGD	Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica
RN	Resolução Normativa
REN	Relatório de Energias Renováveis
SEE	Sistemas de Energia Elétrica
SIN	Sistema Interligado Nacional
TE	Telecomunicação
TI	Tecnologia da Informação
UC	Unidade Consumidora
EU	União Europeia
VE	Veículo Elétrico

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 13
1.1. PROBLEMA DE PESQUISA 17
1.2. OBJETIVOS 17
1.2.1. Objetivo Geral 17
1.2.2. Objetivos Específicos 17
1.3. JUSTIFICATIVA 18
1.4. METODOLOGIA 18
1.5. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO 18
2. UTILIZAÇÃO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA: PANORAMA MUNDIAL 19
2.1. JAPÃO 24
2.2. ESTADOS UNIDOS 25
2.3. CALIFÓRNIA 27
2.4. ALEMANHA 28
3. A ENERGIA SUSTENTÁVEL NO BRASIL: ÊNFASE A GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA. 30
3.1. POTENCIAL FOTOVOLTAICO NO BRASIL 34
3.2. GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA CENTRALIZADA 38
3.3. GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA DISTRIBUÍDA 38
4. A GERAÇÃO DISTRIBUIDA: ASPÉCTOS TÉCNICOS, LEGAIS, ECONÔMICOS, POLÍTICOS E AMBIENTAIS 40
4.1. REGULAÇÃO E LEGISLAÇÃO 40
4.2. HISTÓRICO DA REGULAMENTAÇÃO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA 40
4.3. INCIDÊNCIA DE IMPOSTOS FEDERAIS E ESTADUAIS 42
4.4. PROGRAMAS DE INCENTIVO ÀS FONTES ALTERNATIVAS 43
4.5. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA 45
4.5.1. GERAÇÃO CONECTADA E REDE (ON GRID) E ISOLADA DA REDE (OFF-GRID) 47
4.6. MICROGERAÇÃO E MINIGERAÇÃO 48
4.7. NET METERING – SISTEMA DE COMPENSAÇÃO 52
4.8. SISTEMA DE MEDIÇÃO 54
4.9. CUSTOS 54
4.10. SMART GRID 55
4.10.1. COMUNICAÇÃO 61

4.10.2. AUTOMAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO 61
4.10.3. SENSORIAMENTO 62
4.10.4. EXPECTATIVAS PARA AS REDES INTELIGENTES COM VEÍCULOS ELÉTRICOS. 64
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS 69
5.1. QUESTÕES POLÍTICAS 69
5.2. QUESTÕES ECONÔMICAS 70
5.3. QUESTÕES SOCIAIS 71
5.4. QUESTÕES AMBIENTAIS 72
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 74

1. INTRODUÇÃO

Durante o Antropoceno[1], a humanidade evoluiu social e economicamente sem muita preocupação com a sustentabilidade ambiental, fato que culminou nas teorias desenvolvimentistas do século XX, que estimularam o crescimento econômico tratando de forma indiferente a natureza.

O conceito de desenvolvimento sustentável tem origem na década de 1970 no evento conhecido como clube de Roma, no qual os principais países reconhecem a incapacidade da natureza em fornecer indefinitivamente recursos naturais, a partir de um processo de avaliação do comportamento da sociedade em relação ao meio ambiente. Por se tratar de um processo contínuo, diversos enfoques foram elaborados e sofreram modificações ao longo do tempo sempre que novas inquietações surgiam, a fim de encontrar um equilíbrio entre as dimensões social, econômica e ambiental.

Conforme o Relatório de Brundtland, documento intitulado Nosso Futuro Comum, publicado em 1987, desenvolvimento sustentável é entendido como sendo "aquele que atende as necessidades do presente, sem comprometer a capacidade de as gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades". Desta forma, a ordem econômica começa a ser reestruturada pela sustentabilidade ecológica que nasce como um novo critério normativo, com o objetivo de proporcionar a união dos opostos: meio ambiente e o crescimento econômico.

A inovação e o desenvolvimento de novas tecnologias de aproveitamento e conversão dos recursos naturais, que são utilizados como fontes de energias renováveis, transformaram-se questões fundamentais para o desenvolvimento sustentável. A necessidade de energia é inquestionável. No entanto, a utilização de tecnologias que contemplem a eficiência energética e a sustentabilidade da produção são necessárias para garantirem e permitirem um desenvolvimento com baixos impactos ambientais.

A energia é um bem fundamental para integração do ser humano e o desenvolvimento econômico. É ela que abastece casas, comércios, indústrias e meios de transporte. A energia impulsiona o progresso criando oportunidades e mais

[1] O Antropoceno é um conceito que se tornou popular após o cientista holandês Paul Crutzen (Nobel da Química em 1995) utilizá-lo para designar o período geológico em que nos encontramos. Antropoceno é originário de duas palavras gregas: Antropos (humano) + Ceno (novo) e significa uma nova Era, a Era dos Humanos.

alternativas para melhoria na qualidade de vida, tanto para uma região quanto para os indivíduos. Sem ela, seria praticamente impossível imaginarmos o desenvolvimento vigente. O tratamento dos temas energéticos é da maior importância, devendo ser analisado de forma ampla e irrestrita para todos os países.

Conforme explica Reis (2015), o planejamento energético é hoje um dos aspectos estratégicos fundamentais para o desenvolvimento de qualquer região ou país. Em um contexto mais amplo está relacionado com a busca por uma convivência harmoniosa do homem com o mundo que o cerca, resultando na busca da sustentabilidade.

Silva (2002) defende que sustentabilidade tem como requisito a equitativa redistribuição de resultados da produção, e que o processo de crescimento econômico deve abranger a redução da pobreza. Dessa maneira, o termo sustentabilidade atinge sua real contribuição quando as diferenças no padrão de vida são amenizadas, e as necessidades básicas da população são atendidas.

No Brasil, e em grande parte do mundo, a maneira organizacional que foi adotada pelos Sistemas de Energia Elétrica (SEE), obedecida ao longo dos anos, consiste em grandes centrais de geração de energia e uma extensa rede de linhas de transmissão e distribuição, conhecida como geração centralizada de energia.

As unidades de geração empregadas, em geral de grande porte, estão relacionadas às fontes primárias, em que o aproveitamento é mais satisfatório no local da ocorrência e são interconectadas através de linhas de transmissão e distribuição, para atender as necessidades de consumo de forma segura e econômica. Entretanto, regiões distantes com densidade populacional reduzida e baixas demandas de consumo não fazem parte deste tipo de planejamento, visto que o atendimento via extensão da rede nem sempre apresenta retorno econômico satisfatório, comprometendo, desta forma, o acesso universal a energia, e ampliando, ainda mais, as diferenças sociais em um mundo cada vez mais globalizado.

Existe ainda a pressão global por um planeta mais sustentável, os impactos ambientais nocivos de cunho local, regional e mundial decorrentes da produção e uso da energia que constituem uma ameaça para saúde e o bem-estar das gerações presentes e futuras. Conforme dados da *World Energy Assessment* (WEA), responsável pela avaliação energética mundial, o suprimento de energia no mundo

está garantido para os próximos cinquenta anos, porém o sistema energético atual não é sustentável, tanto por motivos de equidade como por questões de caráter ambiental, econômico e político.

O Brasil é reconhecido, internacionalmente, como um país que apresenta crescimento no consumo de energia limpa de fontes renováveis. No Brasil a geração de energia hidráulica possui um papel de destaque em seu planejamento energético, em média 81% da oferta total de energia elétrica brasileira é garantida por centrais hidrelétricas, o que torna a sua matriz mais renovável e limpa. Porém, tendo em vista a recente crise hídrica estabelecida no país, com baixos índices nos reservatórios do sistema brasileiro, surgiu um novo paradigma energético com base na fonte de energia hidrotérmica, de acordo com Plano Nacional de Expansão de Energia 2050 - PNE 2050.

Conforme a Empresa de Pesquisa Energética - EPE (2014), até 2050 as fontes de energia térmicas passarão a ter um papel relevante na matriz energética que vai além do fornecimento de energia elétrica para os picos do sistema, as quais algumas já estão operando na base. Esse fator impacta diretamente as tarifas de energia, que no longo prazo tendem a subir em função da necessidade de se recorrer à termoelétricas com maior frequência e contribui para diminuir a participação de energias renováveis na matriz energética do país.

Observando o setor hidrelétrico, que é o responsável pela maior fatia da geração de energia no país, verificamos que as grandes centrais hidroelétricas, responsáveis pelo abastecimento dos desenvolvidos centros consumidores, estão localizadas a amplas distâncias, ocasionando maiores custos de transmissão e gerando perdas.

No âmbito da geração de eletricidade, as fontes alternativas, representadas em termos de pequenas centrais hidroelétricas (PCHs), geração através da biomassa, energia eólica e solar se apresentam como uma das opções para a diversificação da matriz elétrica brasileira com reduzidos impactos ambientais e baixas emissões de gases do efeito estufa. A utilização dessas fontes garantirá maior confiabilidade e segurança de abastecimento, promovendo complementaridade energética sazonal à energia hidráulica, responsável por 76% da potência instalada de geração de eletricidade no País (MME & EPE, 2009, p. 77).

Neste contexto, a geração distribuída (GD) se apresenta como uma das possíveis soluções. Essa forma de geração pode atuar no sentido de aumentar a confiabilidade e a qualidade do suprimento, atendendo melhor a demanda. Segundo o Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE), a GD torna o consumidor participativo no processo de geração de energia elétrica. A geração distribuída é caracterizada pela proximidade do cliente consumidor, em geral com impacto apenas no sistema de distribuição local, o que pode levar à redução dos custos totais de investimento em geração, em virtude da diminuição dos investimentos em transmissão e distribuição.

Martins (2015) destaca que diante da crescente necessidade energética mundial, dos elevados custos para transmissão de energia, das pressões para transição e constituição de uma economia de baixo carbono, emerge como opção o modelo de geração distribuída a partir de fontes renováveis.

Olade (2011) esclarece que GD é a geração e armazenamento de energia elétrica em pequena escala, mais próximo ao centro de carga, com opção de interagir, ou seja, comprar e vender com a rede, e, em alguns casos, considerando a máxima eficiência energética.

Para incentivar a entrada da GD na matriz elétrica brasileira, em 2012, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) instituiu através da Resolução Normativa 482/2012, considerada um marco regulatório da microgeração e minigeração de energia no Brasil. Esta legislação regulamenta a ligação destas pequenas centrais geradoras de energia, diretamente à rede de distribuição, propiciando o acúmulo de créditos de energia, desde que sejam provenientes de fontes renováveis tais como: solar, eólica, biomassa, hídrica e cogeração qualificada (ANEEL, 2012).

Diversos autores vêm desenvolvendo pesquisas sobre a geração distribuída de energia e redes inteligentes. Porém, entre os estudos analisados, os que mais se destacaram foram os trabalhos de Martins (2015), que propõe mecanismos de estímulos a GD na ótica dos consumidores residenciais brasileiros, visando solucionar as barreiras e Timossi (2016), que apresenta uma visão geral para cada parte que envolve Smart Grid, englobando as necessidades de mudanças no setor de energia, assim como as oportunidades que podem surgir com essa mudança, assim como uma

apresentação do que poderão ser as redes inteligentes. Portanto os dois serão utilizados como referências durante a ordenação dessa pesquisa.

1.1. PROBLEMA DE PESQUISA

Dada a importância da geração distribuída de energia, surge uma questão: pode a mesma atuar de forma participativa no abastecimento do sistema elétrico brasileiro que, conforme já foi falado, atravessa um período de crise no abastecimento das hidrelétricas devido à falta de chuva, ocasionando aumento nas tarifas e também assumindo riscos em relação ao abastecimento, podendo o mesmo estar comprometido para o futuro?

Além disso, diante do que foi exposto, a utilização da GD pode alterar significativamente as questões econômicas, políticas e ambientais relacionadas a questão energética no Brasil?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

O objetivo principal deste trabalho foi analisar os impactos que a descentralização da geração de energia elétrica pode causar no sistema elétrico brasileiro, levando em consideração os aspectos econômicos, políticos e ambientais.

1.2.2. Objetivos Específicos

Compreender onde estão os principais entraves para que esta nova modalidade de eficiência energética possa evoluir, atuando de forma consistente e sustentável no abastecimento de energia nacional, sem causar danos ao meio ambiente.

1.3. JUSTIFICATIVA

Os Sistemas de Energia Elétrica atuais estão prestes a sofrer uma alteração de proporções gigantescas. Essa transformação, na verdade, pode ser vista como uma atualização das tecnologias de geração, transmissão, distribuição e uso final da energia elétrica. Essa modernização do sistema vai de encontro às questões que se tornaram cada vez mais importantes para sociedade, tais como mudanças climáticas e desenvolvimento sustentável, incluindo a possibilidade de oportunizar ao usuário final maior participação no planejamento e operação do sistema. Por esse motivo é que fontes de energia como o sol, a água, o vento e a biomassa passaram a ser o foco de estudos tecnológicos e de investimentos que objetivam à solidificação de um sistema energético, incorporado ao bom funcionamento dos ecossistemas.

1.4. METODOLOGIA

Metodologicamente, o estudo se utiliza dos métodos descritivo, através de uma revisão bibliográfica, e do dedutivo. O método de obtenção de dados será através de pesquisa bibliográfica documental, baseada em trabalhos científicos, dissertações e sites governamentais e documentos gerados por Concessionárias e Agências do Setor Elétrico. A ideia é apresentar o estado da arte da geração distribuída de energia, isto é, um *survey* sobre o tema. Em suma, dedutivo em relação aos fins e bibliográfico no que diz respeito aos meios.

1.5. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho está organizado em cinco capítulos e se apresenta da seguinte forma:

- No capítulo 1, apresenta-se a introdução, em que serão propostos os argumentos iniciais sobre o tema, motivações, o objetivo da realização do trabalho, a justificativa, metodologia e a estrutura do trabalho.

- No capítulo 2, discorre-se sobre um panorama do cenário internacional, seus mecanismos e políticas utilizadas para o desenvolvimento da geração distribuída.
- No capítulo 3, será apresentada a atual situação do mercado brasileiro com ênfase na energia solar fotovoltaica.
- No capítulo 4, tem-se como objetivo apresentar o funcionamento da GD, todos os mecanismos envolvidos, legislação vigente, opções de financiamento disponíveis.
- No capítulo 5, conclui-se esse trabalho respondendo todas as questões que foram sugeridas.

2. UTILIZAÇÃO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA: PANORAMA MUNDIAL

Neste capítulo será apresentado um panorama da geração de energia sustentável, através de fontes renováveis no mundo. Traçando um comparativo entre as Políticas de desenvolvimento, tecnologias, sistemas de compensação utilizados no Mundo.

Poucas são as nações autossuficientes na produção de energia. O Japão, por exemplo, necessita importar praticamente toda a energia que consome. Os Estados Unidos, com seu vasto território e seus recursos naturais, importam a metade do petróleo que consome. A União Europeia também é dependente das importações de energia, em especial do petróleo e mais recentemente do gás, essa dependência chama atenção porque constitui uma preocupação política relativa à segurança do abastecimento de energia.

Países como a China, em que quase toda a energia produzida é proveniente da queima do carvão, enfrentam sérios problemas de poluição urbana, já que esse processo é acompanhado da emissão de óxidos de enxofre entre outros poluentes que estão tornando inconcebível a vida nos grandes centros urbanos. O governo chinês tem consciência da gravidade desse problema para a saúde da população, e já tomou medidas sérias para que ocorra redução no uso do carvão, melhorando a eficiência com que ele é utilizado. De imediato, podemos ressaltar um ganho adicional, a redução da emissão de gases como o dióxido de carbono responsável pelo aquecimento global e pelas mudanças climáticas. Para Goldemberg (2013), a China,

considerada hoje o maior país emissor de dióxido de carbono, estaria disposta a reduzir as emissões nos próximos anos.

Na contramão do que foi exposto acima, podemos citar Oslo, capital e maior cidade da Noruega, localizada no sudeste do país. Esta detém o título de cidade mais cara do mundo, eleita o local com a 24º melhor qualidade de vida do mundo, além de liderar a lista dos países com melhor Índice de Desenvolvimento Humano (IDH). Oslo é uma cidade que importa lixo, sendo a prática de queimar o lixo utilizada para gerar eletricidade. Parte do lixo é importado da Inglaterra, Irlanda e Suécia, conforme Mikkelsen, diretor-gerente da agência municipal encarregada da transformação de resíduos em energia. O transporte barato compensa.

Para muitos, pode parecer estranho que Oslo recorra à importação de lixo para gerar energia, visto que o país está entre os dez maiores exportadores mundiais de petróleo e gás, tendo abundantes reservas de carvão e uma rede extensa de usinas hidrelétricas em suas montanhas, ricas em água. No entanto, para eles se trata de um jogo de energia renovável para reduzir o uso de combustíveis fósseis.

Além disso, a Noruega pode se orgulhar de outro número sustentável, isso porque 51% dos carros registrados no país serão elétricos ou híbridos e até 2025 o país tem planos para eliminar completamente as emissões de gás carbônico por veículos com motores a combustão. Conforme informações do órgão federal de trânsito do país, a “Opplysningsradet for Veitrafikken” (OFV), as metas para 2020 foram alcançadas em 2017, e as expectativas para os próximos anos são ainda melhores, quando os carros elétricos tiverem um melhor desempenho alcançando maiores distâncias e espaço para levar a família inteira. Os benefícios concedidos aos carros elétricos vão desde isenção do pagamento de pedágio, ao preço do IPVA, que lá é calculado proporcionalmente à taxa de poluentes emitidos pelo veículo, e não à potência do motor.

Em 2016, 24,5% da energia elétrica mundial foi atendida por fontes renováveis. Dessa porcentagem, 5,5% foram geradas por fontes limpas, dentre elas as que mais se destacaram foram a energia eólica e energia solar fotovoltaica (Figura 1).

Figura 01: Percentual de energia limpa no mundo e as fontes utilizadas.

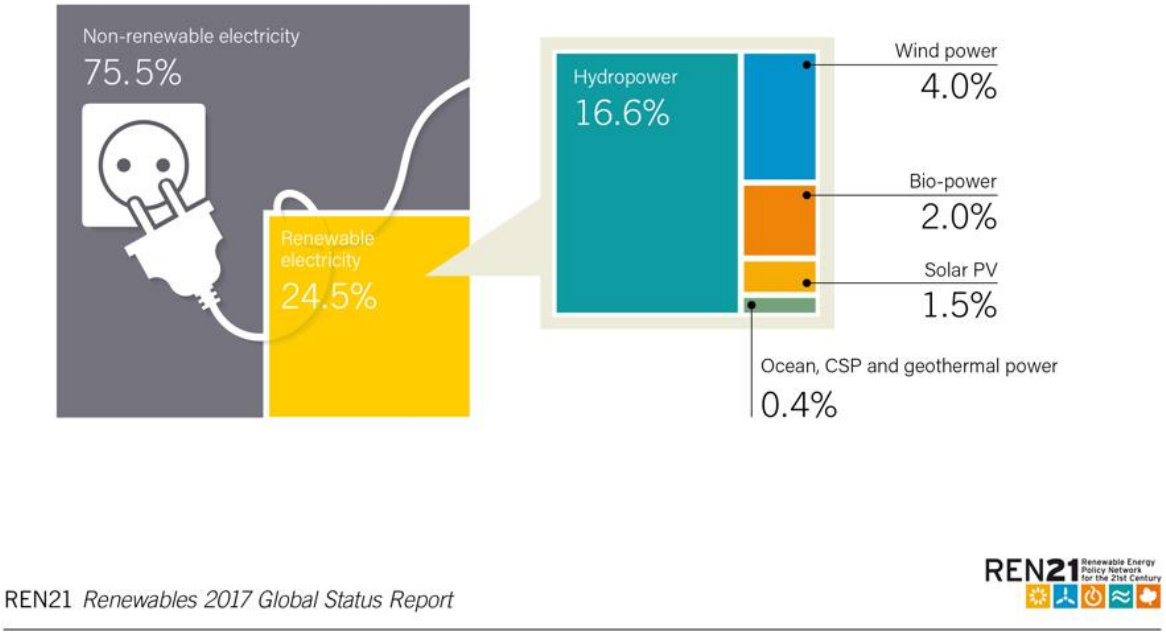

Figura 1: Estimativa de geração elétrica por fontes renováveis em 2016. Valores baseados na capacidade de geração das fontes renováveis.

Fonte: REN 21 (2017)

Somadas, essas duas fontes ultrapassaram os 650 GW de capacidade instalada em 2016 (REN21, 2017). Avaliando todas as fontes renováveis juntas, estas têm recebido mais investimentos nos últimos anos (2008-2016), como mostra a Figura 2.

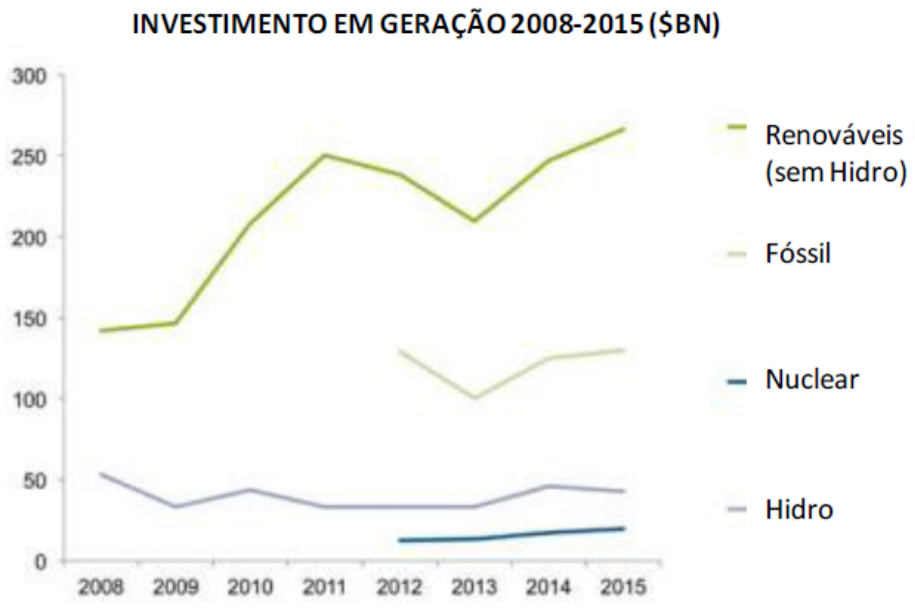

Figura 2: Investimento em elétrica.

Fonte: UNEP & BLOOMBERG (2016) – Traduzido

Conforme explica Diuana (2017), estes números se devem ao fato do reduzido fator de capacidade das fontes renováveis, variáveis quando comparado às fontes tradicionais de geração por combustíveis fósseis. Ou seja, para se alcançar o mesmo nível de geração de energia através de fontes renováveis é preciso uma capacidade instalada superior ao que seria necessário, caso estas fontes fossem usinas termoelétricas.

A Figura 3 demonstra a Capacidade de energia renovável no Mundo, Brics, União Europeia e destaca ainda os seis melhores países em 2016.

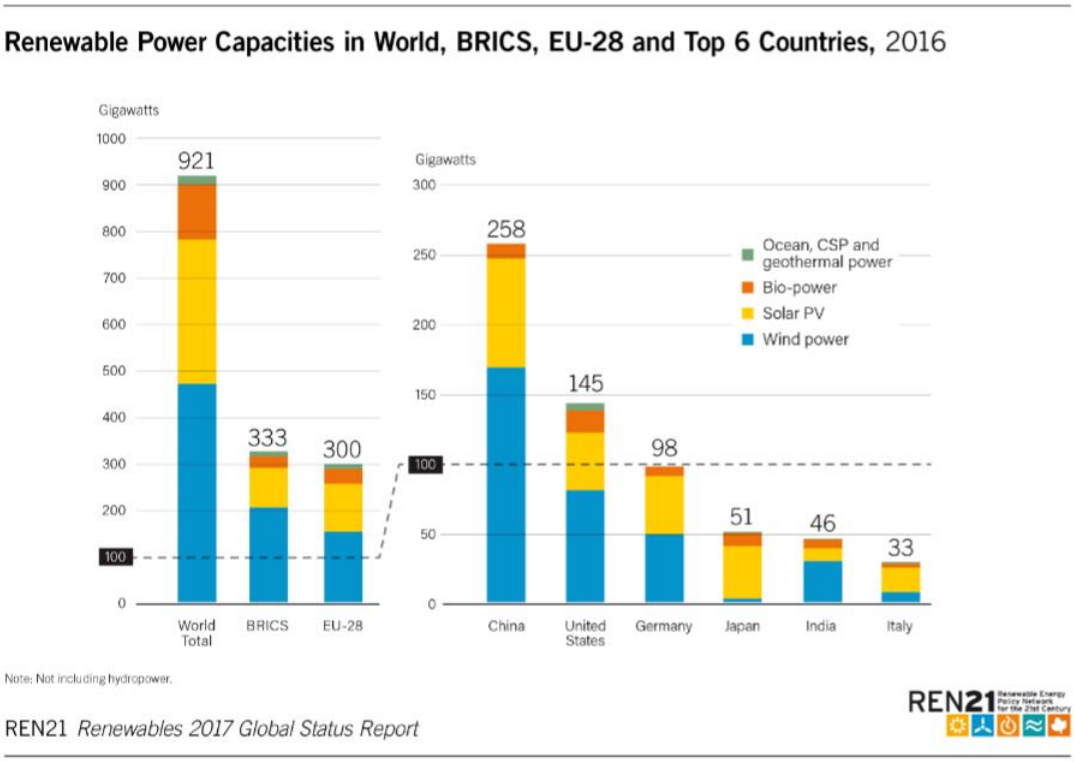

Figura 3: Capacidade de energia renovável por fonte

Fonte: REN 21 (2017)

Em alguns países do mundo já é possível observar a criação de programas para incentivar a indústria de GD, com o propósito de atingir um nível ótimo de produção, essencial para competir com os outros programas e tecnologias envolvidas na geração de eletricidade. Podemos citar como principais motivações para criação de programas: a independência energética, o domínio tecnológico e, por fim, a redução das emissões de gases do efeito estufa.

De acordo com (LORA E HADDAD, 2006 APUD MARTINS, 2015) a operação de GD a partir de fontes renováveis tem se mantido como uma das tecnologias de geração de eletricidade que mais cresceu no mundo, no que diz respeito ao desenvolvimento tecnológico e investimentos.

Os primeiros incentivos a GD surgiram nos EUA através de mudanças na legislação, iniciadas pelo *Public Utilities Regulatory Policies Act* (PURPA) em 1978 e ampliadas 1992 pelo *Energy Policy Act*, com a desregulamentação da geração de energia. A propagação da geração distribuída contou com o progresso tecnológico

mundial no campo da computação, ocasionando o controle e processamento de dados mais acelerado e com menor custo na transmissão de maior volume de informação INEE (2001 APUD BARBOSA 2013).

A redução nos custos de equipamentos, o desenvolvimento de novas tecnologias, o fantástico e crescente interesse dos investidores associados a uma forte política de incentivos a geração de energia, a partir de fontes renováveis, ajudam a explicar este movimento. Seja pela diversificação da matriz energética, domínio da tecnologia ou busca por minimização dos impactos ambientais derivados de fontes não sustentáveis, a GD vem se estabelecendo no mundo como uma das formas mais inteligentes de se gerar energia. A seguir, será traçado um panorama de alguns países relevantes para o setor e que demonstram preocupação em gerar energia através de fontes renováveis, conforme gráfico do Relatório de Energias Renováveis REN 21 apresentado na figura 3.

2.1. JAPÃO

A política de eletricidade no Japão é regulada pela Agência dos Recursos Naturais, que pertence ao Ministério da Economia Comércio e Indústria do Japão (METI). O apoio de autoridades, e do setor privado à tecnologia, faz com que o país se mantenha como um mercado promissor para GD fotovoltaica.

Conforme destaca TIMOSSI, o Japão apresenta algumas características diferentes em relação aos demais países na adoção de novas tecnologias para o *Smart Metering*. Sendo uma sociedade preocupada com a baixa emissão de carbono, o país planejou e desempenhou um plano pensado na eficiência geral do uso da energia, tanto na produção de novos equipamentos, como na produção industrial, delineando metas instituídas e ordenadas.

Em 2003, foi estabelecida a Lei Básica de Política Energética, ou seja, o documento onde as estratégias energéticas estão apoiadas. Podemos destacar os três princípios básicos: assegurar um fornecimento estável, adequação ambiental e utilização dos mecanismos de mercado. Através dessa lei foram estabelecidas as seguintes metas: aumentar a taxa de independência energética passando de 38% para 70%; aumento na participação da matriz energética de fontes de energia com

zero de emissões, subindo de 34% para 70%; além de diminuir em 50% o nível de emissões de CO_2 no país, mantendo a eficiência energética no mais alto patamar mundial. A fim de tornar realidade todas as metas mencionadas, o Japão se propõe a expandir e intensificar todos os mecanismos de promoção utilizados.

Martins (2015) salienta que mesmo antes do acidente na usina nuclear de Fukushima, em março de 2010, o mercado japonês já crescia rapidamente, com 990 MW instalados em 2010 e perto de 1,3 GW em 2011, o que elevou a capacidade instalada do país para 4,9 GW.

Conforme relatório do Instituto de Economia da Energia e Análise Financeira (IEEFA), intitulado “Japão: Maior Segurança Energética Através de Transformações Elétricas Renováveis em uma Economia Pós-Nuclear”, o país está comprometido em reduzir em 40% o uso de usinas térmicas comparando os níveis de 2015. O mesmo relatório destaca o potencial das energias renováveis, especialmente solar e eólica offshore, para melhorar a segurança energética do país.

Afirma o relatório que a segurança energética do Japão está em perigo, antes do acidente nuclear, tinha-se combustível suficiente para garantir a produção de eletricidade por longo prazo. Porém, após as paradas do reator, o país se tornou extremamente dependente da importação de combustíveis fósseis. O que acabou contribuindo para que o Japão saísse de uma situação de superávit na balança comercial para um déficit que atingiu US$116 bilhões em 2014.

O estudo concluiu que os ganhos em eficiência energética mostram uma tendência de redução na demanda por eletricidade de 1.140 terawatts horas (TWh), no ano fiscal de 2010 para 868 TWh em 2030. A eficiência energética no Japão apoia a ampliação das energias renováveis, tendo-se planos para atender 35% das suas necessidades com fontes de energias limpas até 2030.

2.2. ESTADOS UNIDOS

Apesar de ser um dos desbravadores da geração distribuída de energia através de fontes renováveis, o país ainda mantém uma forte dependência dos combustíveis fósseis. Apesar disso, cresce a cada dia o interesse dos Estados Unidos em investir

nas fontes limpas. Desde 2008, a taxa anual de crescimento da geração solar fotovoltaica distribuída é superior a 40%, ultrapassando os 10 GW de capacidade instalada em 2015.

Nos EUA, existe um grande número de políticas de incentivos para energias limpas, sendo elas federais e estaduais. Entre elas, existe uma lei federal que contempla a ligação de unidades consumidoras a rede elétrica, onde as distribuidoras devem permitir a entrada de produtores independentes, além disso, deve comprar a eletricidade gerada em excesso pelo consumidor.

Investir em energias renováveis significa para os EUA minimizar a dependência por combustíveis fósseis, tal como o óleo proveniente do Golfo Pérsico, assim como melhorar a segurança nacional em abastecimento de energia, diminuindo custos com importação, gerando mais empregos no setor de manufatura, serviços e agricultura. (Aggens; Gelain; Bisogno – 2012).

Alguns estados elaboram suas próprias regras, além das exigências federais, e com isso estão conseguindo obter resultados positivos que vão além do que é exigido no âmbito das leis federais, podemos citar como exemplo o sistema *Net Metering*, que permite aos consumidores com sistemas fotovoltaicos a medição liquida. Com a utilização desse sistema de compensação pelas concessionárias de energia, o medidor dos consumidores pode reduzir e receber um bônus, ou seja, a partir do momento que a geração distribuída fotovoltaica produzir mais energia do que for necessário para o funcionamento da residência o consumidor estará ganhando.

Conforme explica Martins (2015), a partir do sistema de compensação (net metering) a energia excedente é introduzida na rede elétrica e vendida para concessionária ao preço spot[2]. Caso ocorra falta de energia, chaves de segurança no inversor desligam o sistema fotovoltaico automaticamente da rede. Na prática, a rede elétrica funciona como uma bateria para os consumidores, inicialmente já pode ser considerado um ponto positivo, visto que irá poupar uma despesa adicional com a compra e manutenção de um sistema de baterias.

O método mais utilizado para realizar a medição, contabilizando a eletricidade no sistema de compensação, é através de um medidor único reversível. Existe ainda

[2] O termo em inglês spot utilizado no texto junto a palavra preço (spot price) tem significado de preço à vista.

a possibilidade da medição dupla, na qual os clientes ou a concessionária instalam dois medidores contínuos que meçam os fluxos de energia nos dois sentidos de forma distinta.

Todavia, essa instalação de medição dupla onera o consumidor, tornando o custo para instalação do sistema fotovoltaico mais caro. Nos EUA, atualmente a tendência é a instalação de um medidor reversível. Por lá algumas distribuidoras de energia ainda são contra o sistema *net metering*, por acreditarem que poderá ocorrer um impacto financeiro negativo, devido ao fato de que deixariam de faturar e ainda teriam que pagar por uma tarifa alta por toda energia injetada na sua rede.

Alguns estados têm alcançado grandes resultados. Podemos citar a Califórnia que, na Conferência das Partes (COP21), realizada em Paris no ano de 2015, foi amplamente citada como modelo de compatibilidade de proteção climática e sucesso econômico.

2.3. CALIFÓRNIA

Em 2001, a Califórnia foi atingida por uma severa crise energética. Sucessivos apagões afetaram a economia. A crise energética revelou uma necessidade urgente, acabar com a dependência do estado ao gás natural e, consequentemente, com a volatilidade dos preços e vulnerabilidade a lances oportunistas.

A primeira versão da Lei sobre energias renováveis, SB1078, que foi aprovada em 2002, estabelece que 20% da energia elétrica seja proveniente de recursos renováveis, até 2017. Mais tarde, o governador propôs uma antecipação dessa meta para 2010 a fim de acelerar a transição energética. Devido ao programa ser muito complexo, sujeito a frequentes ajustes regulatórios, durante cinco anos não ocorreram avanços, juntando-se a isso uma grave crise econômica que assolou a Califórnia. A mesma chegou a ser declarada como um “estado falido”.

Dentro deste contexto de crise econômica, as oportunidades de curto prazo foram incitadas a fim de que a recuperação da economia fosse atingida. A solidez e coesão regulatória na forma e nos termos dos contratos forneceram um alicerce fundamental para novos investimentos. O mercado de energia da Califórnia se

beneficiou da notável diminuição dos custos da energia renovável, fator que continua a intensificar os mercados de energia renovável no mundo.

Além disso, o governo federal, reconhecendo que os créditos fiscais para energia renovável não geravam interesse para os investidores, passou a oferecer subsídio em dinheiro através da Lei Americana de Recuperação e Reinvestimento de 2009. Dando assim a opção de um subsídio em dinheiro, ao invés do crédito fiscal para projetos qualificados até o final de 2011. O programa fez um enorme sucesso, ajudando a financiar 33,3 gigawatts em projetos de energia renovável em todo país.

Visando possibilitar e reduzir os custos de financiamentos, em um momento em que fundos de investimentos eram precários, o governo federal ofereceu programas de garantia de empréstimos. O programa beneficiou projetos de energia e ao mesmo tempo o Tesouro, que obteve um retorno sobre os investimentos acima do retorno esperado. Todos esses incentivos atraíram muitos investimentos, criando um grande número de empregos.

Atualmente, a Califórnia ainda trabalha com metas ambiciosas para energias renováveis. Planejam que a rede elétrica funcione com 50% de energias renováveis até 2030. Além disso, consideram a possibilidade de reduzir o nível de emissões de gases de efeito estufa aos níveis de 1990 até o ano de 2020 e para 80% abaixo dos níveis de 1990 até 2050. Para alcançar esses níveis, será necessário descarbonizar o setor elétrico, assim como a levar a eletrificação para outros setores essenciais da economia, tais como transportes e indústrias. A revolução energética pode estar próxima, a partir do momento que as sociedades do mundo inteiro começarem a entender e enfrentar os custos econômicos e ambientais resultantes da dependência dos combustíveis fósseis.

2.4. ALEMANHA

Por meio de políticas nacionais, a Alemanha procura expandir a utilização de energias renováveis e consolidar o setor, fortalecendo a competitividade das empresas e instituições de pesquisa alemãs, além de promover um aumento no nível de empregos. No intuito de promover esses objetivos, o Ministério Federal do Meio Ambiente Alemão (*Bundesminiterium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit*

– *BMU*), determinou as principais áreas de atuação: trabalhar continuamente para diminuir os custos de utilização de energias renováveis, otimizar os sistemas de energia e incrementar a ampliação e o desenvolvimento das energias limpas em harmonia com o meio ambiente e a conservação da natureza. (BMU, 2010 apud AGGENS, GELAIN, BISOGNO, 2012).

O governo alemão está entre os mais empenhados na utilização de energias renováveis. Através da Lei de Fontes Renováveis de Energia (*Erneuerbare-Energien-Gesetz – EGG*), que está em vigor desde janeiro de 2009, o governo garantiu a expansão da utilização de energias renováveis no setor elétrico. Estabelecendo metas rigorosas, tais como 30% do fornecimento de eletricidade deveria provir de fontes limpas até 2020 (BMU,2010 apud AGGENS, GELAIN, BISOGNO, 2012).

Os objetivos traçados são expressivos, levando em consideração as diretrizes da União Europeia (UE), que trata sobre o acesso e utilização de energia provenientes de fontes renováveis (2009/28/CE), na qual o objetivo é o atendimento de 20% do consumo bruto final de energia na UE até 2020, através de fontes renováveis. A meta estabelecida para Alemanha é de 18%, em 2009 pesquisas apontaram que 10,3% do total de energia consumida em solo alemão já era proveniente de energias renováveis. (BMU,2010 apud AGGENS, GELAIN, BISOGNO, 2012).

A Alemanha oferece projetos que apoiam as energias renováveis, os mesmos compreendem investimentos e subsídios. Em relação aos subsídios operacionais, a tarifa Feed-in de remuneração da eletricidade, produzida a partir de energias renováveis, é regulamentada pelo Decreto de Energia Renovável (*Renewable Energy Sources Act*). Geralmente, é estabelecido um prazo de vinte anos para a tarifa, e os contratos são preenchidos pelo Ministério do Meio Ambiente Alemão (BMU) ou pelo KfW-Bank, banco de desenvolvimento alemão (KPMG, 2011 apud AGGENS, GELAIN, BISOGNO, 2012).

Existem ainda outros programas, que contemplam redução nas taxas de juros de empréstimos do KfW-Bank, para projetos que demonstrem preocupação com o meio ambiente. O mesmo banco oferece ainda subsídio voltado a ações de suporte às plantas fotovoltaicas e projetos que visem o aumento da utilização de energias renováveis, estabelecendo um novo padrão de consumo mais responsável em relação a proteção climática.

Neste capítulo traçamos um panorama da Geração de energia no mundo, levando em consideração os países que estão à frente em relação a Geração Distribuída de energia assim como demonstram estar comprometidos em gera energia através de fontes renováveis de energia. No próximo capítulo, será apresentada a situação atual da Geração Distribuída no Brasil, daremos ênfase a energia solar fotovoltaica visto que a mesma apresenta maior índice de crescimento e aceitação dentro da classe de consumidores domésticos, setor onde a GD apresenta maior crescimento.

3. A ENERGIA SUSTENTÁVEL NO BRASIL: ÊNFASE A GERAÇÃO DISTRIBUÍDA FOTOVOLTAICA.

Para falar de geração distribuída no Brasil, foi tratada com ênfase a energia fotovoltaica, devido ao grande potencial que ela vem demonstrando após a implementação da Resolução Normativa REN nº – 482/2012.

O crescimento econômico brasileiro estabelece uma demanda crescente de energia. Aliado a esse crescimento, verificamos a melhoria na qualidade de vida que a população, de um modo geral, vem alcançando através da evolução da renda, a qual possibilita o acesso às infraestruturas básicas como moradia, saneamento e transporte. Como consequência, o consumo de energia per capita, principalmente energia elétrica, vem aumentando de forma consistente com o PIB, conforme podemos observar na Figura Nº 4 ampliando a intensidade energética da economia

brasileira em torno de 2% ao ano (Atlas Brasileiro de Energia Solar – 2ª Edição 2017).

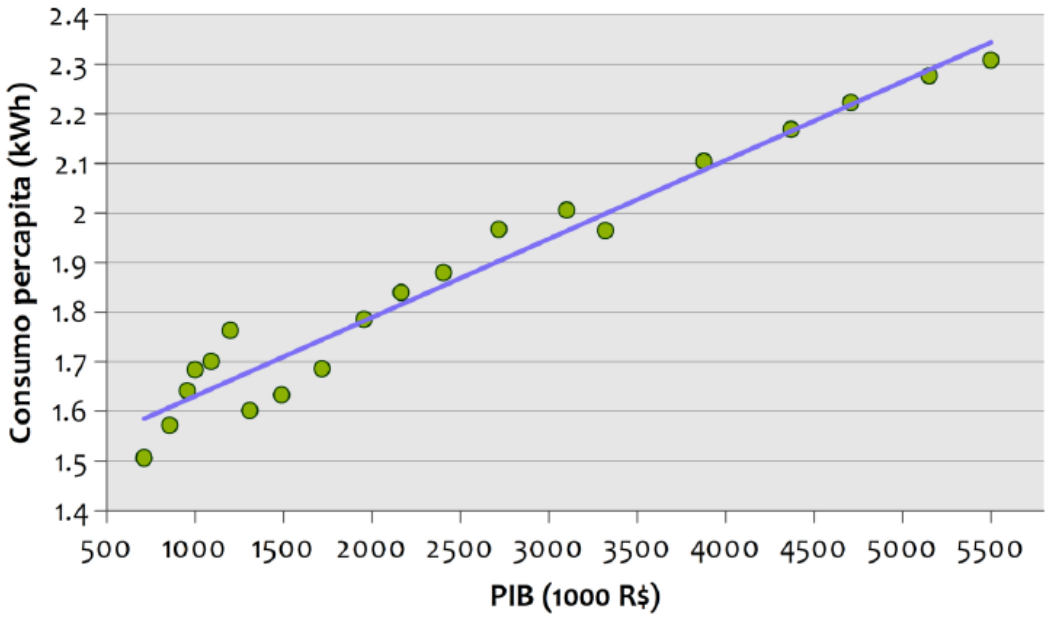

Figura Nº 4: Variação do consumo de energia versus Produto Interno Bruto Brasileiro entre 1995 e 2015.

Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar – 2ª Edição 2017

A participação das hidroelétricas na matriz elétrica brasileira faz com que o sistema elétrico nacional se torne único em se tratando de aspectos ligados a impactos ambientais, como em emissões de gases de efeito estufa. Porém, a hidroeletricidade está subjugada à influência de fatores climáticos, de modo que a energia armazenada (representada pelo nível de água acumulada no reservatório), do ponto de vista da segurança energética, em períodos de seca pode alcançar índices não satisfatórios. Com a escassez desse recurso, a oferta de energia reduz motivando o crescimento do risco de abastecimento no sistema energético e causando a elevação dos preços de energia no país.

Para atender a demanda crescente por energia, está-se investindo em fontes térmicas de energias não renováveis (como carvão, gás natural e óleo) contribuindo para carbonização da matriz elétrica brasileira. Dados recentes revelam que as usinas termoelétricas à combustíveis fósseis, abrangendo energia nuclear, responderam em 2015 por cerca de 26% da oferta interna de energia elétrica. Em contrapartida, a geração hidráulica sofreu um decréscimo de 81% para 62% entre os anos de 2011 e

2015, causado em parte pela grave estiagem no período. Esse episódio contribuiu para o aumento nas emissões de carbono, subindo de 82 para 137 $KgCO_2$/Mwh no período estudado (MME, 2016).

A capacidade de geração de energia elétrica por meio de hidroelétricas vem caindo a cada ano - quase 20 pontos percentuais em relação ao total gerado, nos últimos 10 anos – ocasionando um aumento do risco de apagões e do custo de energia necessário ao despacho adicional de usinas termoelétricas (TIEPOLO et al.,2016).

Torna-se claro a necessidade de diversificação das fontes de energia, assim como a exploração de possíveis complementariedades ao sistema. A energia solar pode apresentar um papel de destaque na expansão da matriz elétrica brasileira. Entre 2010 e 2016, o mundo assistiu um aumento na capacidade instalada dos sistemas fotovoltaicos, em média 40%, comparados a energia eólica que cresceu 16%, enquanto que a hídrica apenas de 3% (REN21, 2017). A utilização de sistemas fotovoltaicos permite a geração distribuída de energia com plantas de pequena e média escala, instaladas em prédios comerciais e residências que produzem eletricidade para consumo próprio, enviando o excedente para distribuição na rede do sistema elétrico. Desta forma, a geração distribuída pode colaborar para redução de perdas no Sistema Interligado Nacional (SIN) motivadas pela distância entre as plantas geradoras e os centros consumidores.

O investimento em recurso solar beneficia o controle nos reservatórios hídricos, principalmente nos períodos de estiagem, com poucas chuvas, possibilitando planejamento e otimização de novos investimentos em geração, transmissão e distribuição de eletricidade.

O Brasil possui uma matriz elétrica fundamentalmente hidrotérmica de grande porte, com domínio de usinas hidroelétricas e múltiplos proprietários, composto por empresas das regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e parte da região Norte. Em maio de 2017, a capacidade total de geração de energia elétrica que o Brasil alcançou foi próxima de 152 GW, com a colaboração das diversas fontes de energia, conforme ilustrado na figura Nº 5 (ANEEL, 2017).

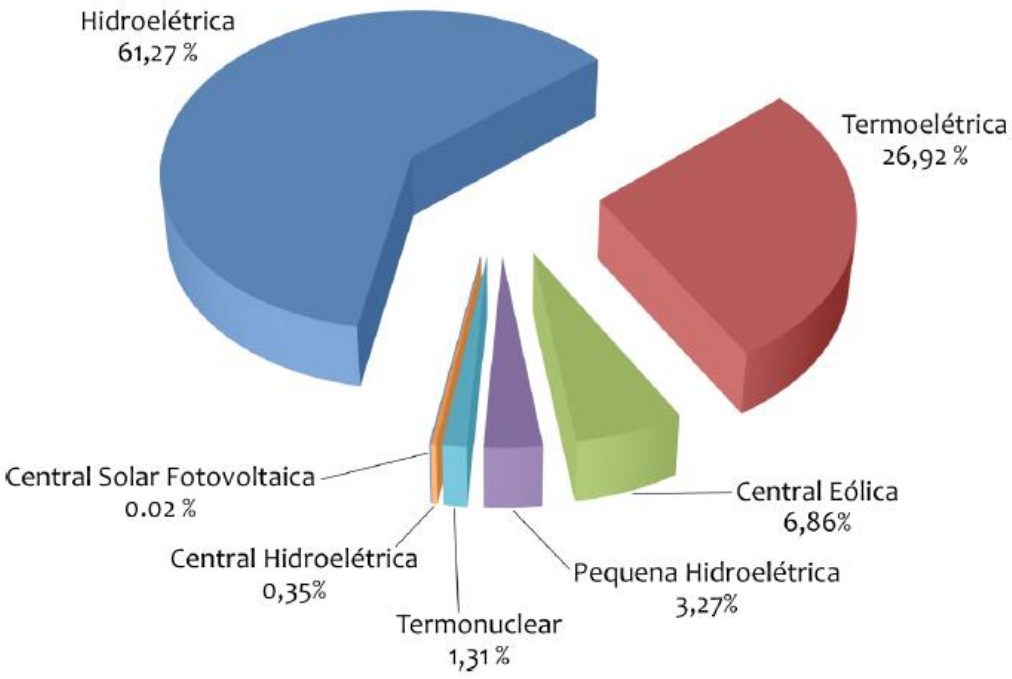

Figura Nº 5: Matriz elétrica brasileira em maio de 2017.

Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar – 2ª Edição 2017

Uma ferramenta essencial para o planejamento energético é a curva de carga do sistema elétrico. O estudo da curva de carga permite avaliar o comportamento da demanda solicitada no sistema elétrico, e assim constatar onde serão necessários novos investimentos nos sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia. Estudos revelam que grande parte da demanda de energia elétrica acontece durante o horário comercial, derivada das necessidades de climatização de ambientes, assim como da crescente participação dos setores de prestação de serviços e comercio nas atividades econômicas do país (ZILLES, 2011; TIEPOLO, 2015). Dito isto, é fato que a demanda por eletricidade nesse período do dia coincide com o período de maior incidência do sol, tornando esse recurso energético uma alternativa adequada.

A Figura Nº 6 descreve a previsão, realizada através da curva de carga, na qual indica um crescimento da demanda por eletricidade na ordem de 200% para os próximos 30 anos, apoiada na série histórica do consumo de eletricidade no Brasil (MME, 2016).

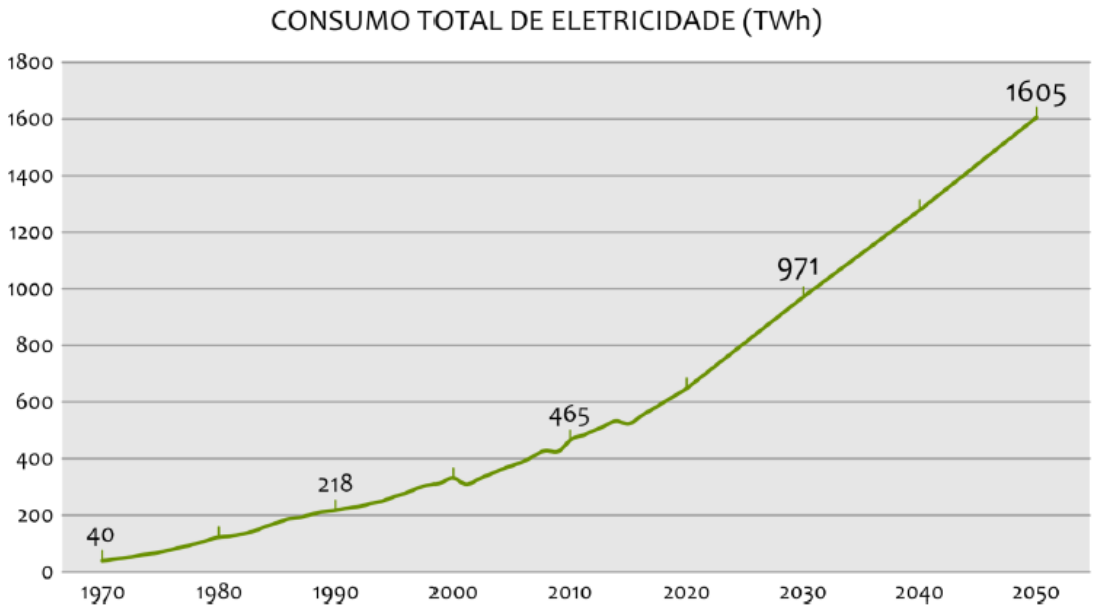

Figura Nº 6: Série Histórica do Consumo Total de Energia Elétrica no Brasil no período (1970-2015) e previsão de demanda para (2020-2050).

Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar – 2ª Edição 2017

3.1. POTENCIAL FOTOVOLTAICO NO BRASIL

A geração fotovoltaica de energia elétrica tem um enorme potencial no Brasil, conforme o mapa da Figura Nº 7. O local com menos incidência de sol é capaz de gerar mais eletricidade do que o local mais ensolarado da Alemanha.

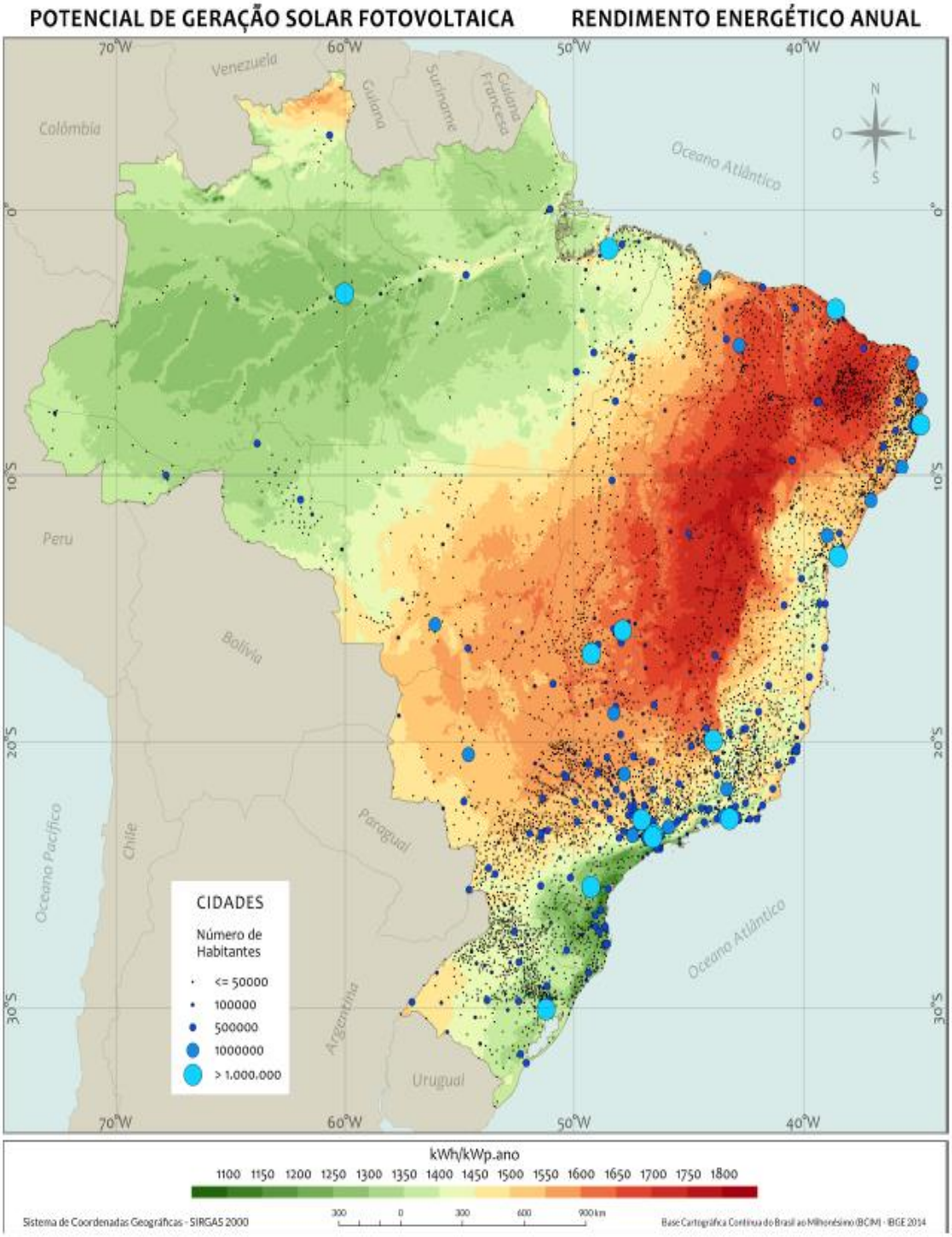

Figura Nº 7: Mapa do potencial de geração solar fotovoltaica em termos de rendimento energético anual para todo o Brasil e distribuição e distribuição da população brasileira nas cidades.

Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar – 2ª Edição 2017

O mapa demonstra o rendimento energético anual e sua capacidade máxima (medido em KWh de energia elétrica gerada por ano para cada KWp de potência

fotovoltaica instalada). Nesta figura também é demonstrada, através de círculos azuis, a concentração populacional no território brasileiro.

A sazonalidade da distribuição deste potencial energético pode ser percebida na Figura Nº 8, através da representação em 12 mapas mensais, em que podemos notar como a geração distribuída se porta em cada região mês a mês.

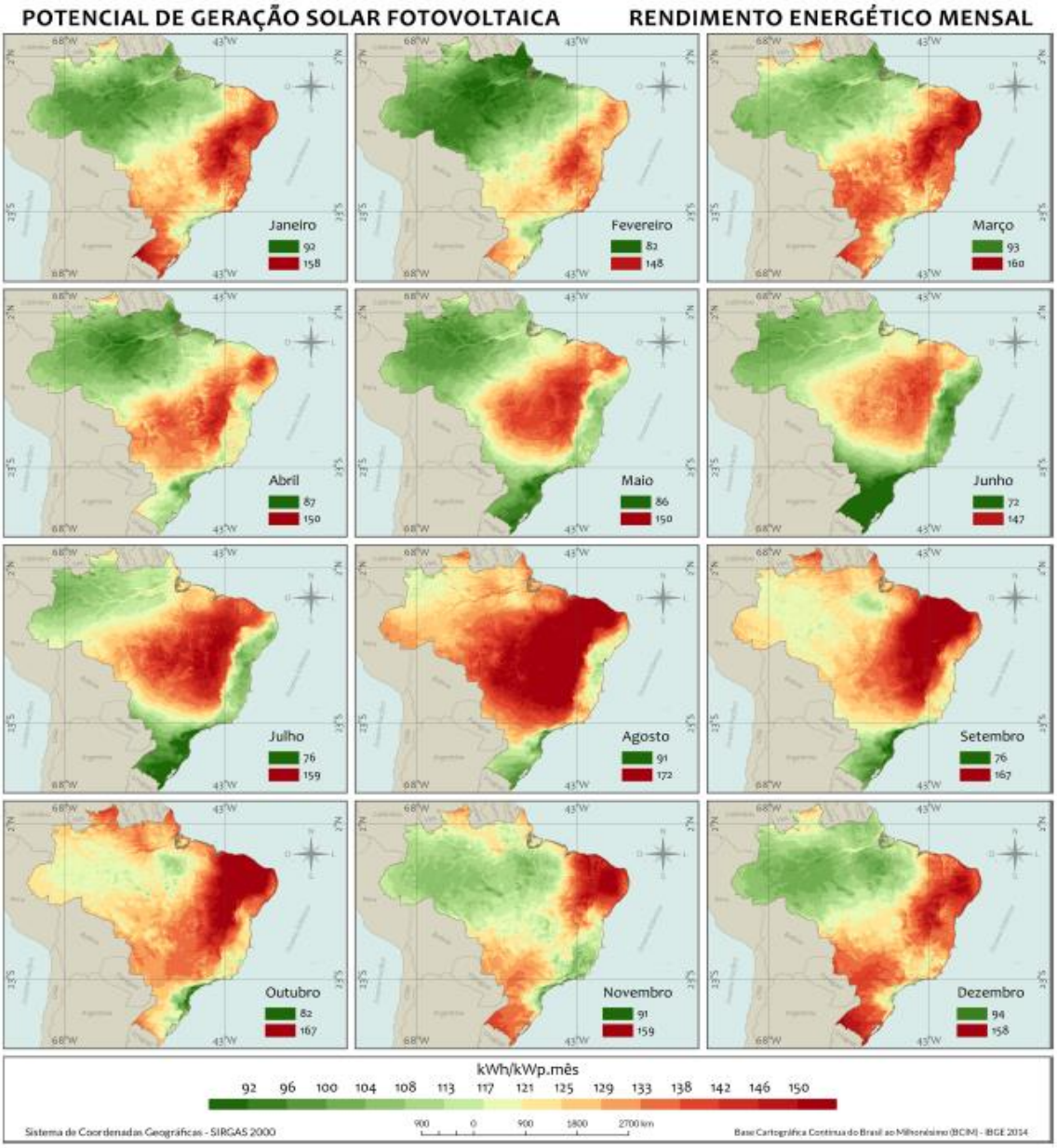

Figura Nº 8: Sazonalidade do potencial de geração solar fotovoltaica para os 12 meses do ano em termos de rendimento energético anual para todo Brasil.

Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar – 2ª Edição 2017

É de suma importância notar que nos meses de verão, essencialmente de dezembro a março, quando a geração atinge seu ponto ótimo nos estados do extremo Sul e Sudeste do Brasil, coincide com os máximos de demanda registrados pelo Operador Nacional do Sistema (ONS) para essas regiões. Dentro deste contexto, a geração fotovoltaica inserida na geração distribuída contribui para redução dos picos de demanda dos sistemas de transmissão do Sistema Interligado Nacional (SIN). Em um futuro próximo, com o crescimento da demanda por geração fotovoltaica em todo o Brasil, a geração de eletricidade próxima ao ponto de consumo deverá ser reconhecida pelo sistema elétrico como uma das principais características desta tecnologia de geração.

Conforme Atlas Brasileiro Energia Solar 2ª Edição, a adesão dos consumidores a geração distribuída é tanto mais viável quanto mais cara for a tarifa de eletricidade convencional da distribuidora local, e quanto maior for o índice de irradiação solar anual da região.

Nos últimos anos, os geradores de energia solar fotovoltaica demonstram uma tendência de queda nos preços, com isso já podemos perceber uma crescente adoção por todo território brasileiro. A partir do final de 2016 foi possível perceber um crescimento exponencial. Essa popularização do sistema faz bem ao mercado, tornando o mesmo mais competitivo.

As distribuidoras de energia começam a entender a tecnologia solar fotovoltaica muito mais como uma oportunidade, do que como um risco. As concessionárias reconhecem que, por serem detentoras do sistema de distribuição, têm já um contrato com a unidade consumidora (UC) podendo, dessa forma, simplesmente adaptar seus serviços, por exemplo, agregando serviços de instalação e manutenção dos geradores fotovoltaicos no telhado das unidades consumidoras. Participando, assim, junto com o consumidor final dos benefícios da geração solar distribuída e conectada junto ao ponto de consumo.

3.2. GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA CENTRALIZADA

As usinas de grande porte têm sido instaladas, sobretudo nas regiões Nordeste, Centro-Oeste e até mesmo no Sudeste do Brasil. Essas regiões oferecem os melhores resultados médios por ano. Acredita-se que a partir do momento no qual os sistemas instalados nessas regiões apresentarem saturação ou necessitarem de investimentos mais volumosos, na finalidade de adequar capacidades instaladas crescentes, outras regiões do Brasil passarão a ser concorrentes, especialmente o Sul e o Sudeste do país, por alguns motivos fundamentais: (i) as distancias em relação aos grandes centros de consumo são menores; (ii) a grande concentração de carga do SIN ocorre nestas regiões; (iii) para essas regiões não há necessidade de novas linhas de transmissão, já que as mesmas dispõe de uma grande quantidade de pontos de conexão. Olhando para o futuro, podemos esperar que usinas de grande porte venham a ser instaladas nessas regiões, fazendo com que a geração centralizada se espalhe por todo país.

3.3. GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA DISTRIBUÍDA

A geração distribuída (GD) apresenta características urbanas, instalada sobre prédios comerciais e telhados residenciais vem se propagando por todo território nacional. Conforme o Atlas Brasileiro de Energia Solar, sua adoção é tanto mais viável quanto mais cara for a tarifa de eletricidade convencional da distribuidora local e quanto maior for o índice de irradiação anual da região.

Com a redução relevante dos preços dos geradores fotovoltaicos ocorrida nos últimos anos, a crescente aceitação por todo território nacional atingiu a partir do final de 2016 um crescimento exponencial. Diante desse cenário, gerar eletricidade no telhado de uma residência é cada vez mais competitivo, com os preços e tarifas da energia elétrica tradicional. Além disso, as distribuidoras de energia estão começando a reconhecer a tecnologia da energia solar fotovoltaica como uma aliada que pode gerar mais oportunidades do que perigos (perda de receita).

A geração distribuída no Brasil tem como base o sistema *net metering*, no qual o consumidor gerador de energia, após descontar o seu consumo mensal, recebe um

crédito em sua conta pelo saldo positivo de energia gerada e implantada na rede. Esse crédito de energia poderá ser utilizado em até 60 meses. Porém, não pode ser comercializado com outros consumidores. A rede elétrica disponível funciona como um backup, para quando a energia gerada localmente não for suficiente para satisfazer as necessidades de demanda da unidade consumidora.

Aos poucos as concessionárias e distribuidoras de energia começam a entender que por serem as administradoras do sistema de distribuição, já mantém um contrato de prestação de serviços com os consumidores, podendo simplesmente alterar esse contrato estendendo a oferta de serviços através da instalação de um gerador fotovoltaico no telhado das unidades consumidoras, compartilhando com o consumidor final as vantagens da geração distribuída conectada junto ao ponto de consumo.

Assim sendo, as distribuidoras de energia fazem parte do caminho natural que a geração solar fotovoltaica distribuída tem para percorrer no Brasil, a partir do momento que as concessionárias começarem a ofertar essa tecnologia haverá um grande avanço no setor de energia.

Ainda que a geração distribuída apresente vários benefícios, para ser colocada em prática no cenário brasileiro necessita que os agentes econômicos superem algumas barreiras pertinentes aos custos e políticas de implementação que inflam os investimentos finais desta tecnologia e a tornam como pouco atrativa na ótica dos consumidores residenciais (MARTINS, 2015).

Neste capítulo foram apresentados o panorama mundial e o cenário nacional de geração de energia elétrica, como também possíveis estratégias para evitar o desabastecimento através de fontes renováveis de energia. No próximo capítulo será proposto um esclarecimento sobre a geração distribuída e todos mecanismos envolvidos na sua implantação e funcionamento.

4. A GERAÇÃO DISTRIBUIDA: ASPÉCTOS TÉCNICOS, LEGAIS, ECONÔMICOS, POLÍTICOS E AMBIENTAIS

Nos tópicos seguintes serão destacados os principais conceitos em relação a geração distribuída, traçando-se um breve histórico para depois expor a situação atual do Brasil.

4.1. REGULAÇÃO E LEGISLAÇÃO

Outra questão importante para análise da indústria de geração de energia elétrica, diz respeito a regulação vigente sobre o setor. Compete a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) regulamentar as políticas e diretrizes do Governo Federal para a utilização e exploração dos serviços de energia elétrica pelos consumidores, produtores e autoprodutores.

Três modalidades de regulação são exercidas na Agência:

- A regulação técnica de padrões e serviços (geração, transmissão, distribuição e comercialização)
- A regulação econômica (tarifa e mercado)
- A regulação dos projetos (pesquisa e desenvolvimento P&D e eficiência energética).

4.2. HISTÓRICO DA REGULAMENTAÇÃO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

No exercício das suas competências legais, a ANEEL fomentou a consulta pública nº 15/2010 (de 10/09 a 9/11/2010) e a Audiência Pública nº 42/2011 (de 11/08 a 14/10/2011), na tentativa de discutir sobre os dispositivos legais que abordam a conexão de geração distribuída de pequeno porte na rede de distribuição.

Resultou deste processo de consulta e participação pública, a Resolução Normativa nº 42/2011 de 17/04/2012, responsável por estabelecer as condições gerais para o acesso de micro e mini geração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, surgindo, consequentemente, o sistema de compensação de energia elétrica correspondente.

Por meio de estudos e acompanhamento do desenvolvimento da REN nº 482/2012, a ANEEL identificou a necessidade de revisar diversos pontos que poderiam ser apurados. Sendo assim, com o objetivo de reduzir os custos e o tempo para a conexão da micro e mini geração, compatibilizar o Sistema de Compensação de Energia Elétrica com as Condições Gerais de Fornecimento (REN nº 414/2010), aumentar o público alvo e aprimorar as informações na fatura, a ANEEL realizou a audiência pública nº 26/2015 (de 7/05/2015 a 22/6/2015), que resultou na publicação da Resolução Normativa nº 687/2015, responsável por revisar a REN nº 482/2012 e a seção 3.7 do Módulo 3 do PRODIST.

Desde abril de 2012, com a criação do Sistema de Compensação de Energia Elétrica, o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia por fontes renováveis ou cogeração qualificada e fornecer o excedente para rede de sua concessionária de distribuição, como se ela fosse uma bateria de capacidade infinita, acumulando créditos a serem compensados em KWh.

Nesse contexto, através da Resolução Normativa 482/2012, atualizada pela REN nº 687/2015, a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) constituiu as regras e a regulamentação para a chamada micro e mini geração.

A geração conectada à rede por meio dos consumidores finais é designada micro geração distribuída (potência instalada de até 75 KW) ou mini geração distribuída (potência superior a 75KW até 3 MW para fonte hídrica e 5MW para demais fontes renováveis). O limite de potência contemplado pela REN 482/2012 era de 1000KWp em 2012, este limite foi revisado e ampliado em 2016 pela REN 687/2015, passando para até 5000 KWp por UC (esse valor corresponde ao consumo médio de mais de mil residências de classe média no Brasil – Atlas Brasileiro Energia Solar 2ª edição). Além disso, os créditos de energia absorvidos pela rede elétrica têm validade de 60 meses para serem compensados.

Após revisar a regulamentação, através da REN 687/2015, a ANEEL entendeu que poderia aumentar a abrangência dos telhados solares para os conceitos de condomínio, consórcio, cooperativas e também autoconsumo remoto. Sendo assim, quem mora em um apartamento onde não é possível instalar as placas e gerar energia, poderá gerar energia solar em outro lugar (por exemplo em uma casa na praia, uma chácara de sua propriedade), utilizando os créditos de energia gerados em seu apartamento na cidade, respeitando sempre os limites da área de concessão da

distribuidora. Também é possível organizar uma cooperativa, condomínio ou consórcio e instalar um gerador comunitário em local específico de acesso para todos os participantes. Através desta flexibilização a ANEEL acredita que até 2024 serão instalados no Brasil cerca de 1,2 milhão de geradores solares fotovoltaicos na categoria de mini ou micro geradores de energia com potência máxima de 5 MWp.

4.3. INCIDÊNCIA DE IMPOSTOS FEDERAIS E ESTADUAIS

A definição sobre a cobrança de impostos e tributos federais e estaduais são de competência da Receita Federal do Brasil e Secretarias de Fazenda Estaduais. A seguir, são apresentadas informações a respeito de ICMS, PIS E COFINS, conforme dados da Agência Nacional de Energia Elétrica:

- ICMS, O Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços é um tributo Estadual aplicável a energia elétrica. No que diz respeito a micro e mini geração distribuída, o Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ), aprovou o Convênio ICMS 6, de 5 de abril de 2013, estabelecendo que o ICMS apurado teria como base de cálculo toda a energia que chega à unidade consumidora proveniente da distribuidora, sem considerar qualquer compensação de energia produzida pelo micro gerador. Sendo assim, a alíquota aplicável do ICMS recairia sobre toda energia consumida no mês. Essa medida se constituía um entrave fiscal gravíssimo, que diminuía a atratividade e viabilidade financeira de projetos de micro e mini geração distribuída.

  Em vista disso, o CONFAZ fez publicar, na edição de 27 de abril de 2015, do Diário Oficial da União, o Ajuste SINIEF 2 de 22 de abril de 2015, publicando o Convênio ICMS 16, que revogou o Convênio de ICMS 6/2013 e autorizou as unidades federadas a conceder isenção nas operações internas relativas a circulação de energia elétrica, sujeitas a faturamento sob o sistema de compensação de energia. Dessa forma, nos Estados que concordaram com o Convênio ICMS 16/2015, o ICMS incide somente sobre a diferença entre a energia consumida e a energia injetada na rede no mês. Até o momento, os seguintes estados aderiram: SP, PE, GO, CE, TO, RN, MT, BA, DF, MA, RJ, RS, RR, AC, AL e MG. Para os estados que não aderiram ao novo Convênio permanece a regra anterior.

- PIS/COFINS, em relação à apuração do Programa de Integração Social – PIS e da Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social – COFINS, o Governo Federal através da Lei nº 13.169/2015, isentou o PIS e o COFINS para energia injetada na rede, ou seja, a incidência do PIS e COFINS passou a acontecer somente sobre a diferença positiva entre a energia consumida e a energia injetada pela unidade consumidora com micro ou mini geração distribuída. Tendo em vista que o PIS e COFINS são tributos federais, a regra estabelecida pela lei vale igualmente para todos os Estados do país.
- Existe uma tendência de que os municípios passem a adotar medidas de incentivo para a dedução de IPTU para a geração distribuída como é o caso do município de Palmas em Tocantins.

4.4. PROGRAMAS DE INCENTIVO ÀS FONTES ALTERNATIVAS

O debate sobre a ampliação da segurança no abastecimento de energia, incentivado pelos efeitos de ordem ambiental e social, visando a redução da dependência de combustíveis fósseis, contribuiu para o interesse mundial na busca por soluções sustentáveis, através da geração de energia proveniente de fontes renováveis.

Nesse contexto, o Brasil ingressou em uma nova fase com a implantação do PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas), criado no âmbito do Ministério de Minas e Energia (MME) pela Lei nº 10.438/2002, de 26 de abril de 2002, e revisado pela Lei nº 10.762, de 11 de novembro de 2003, com objetivo de aumentar a participação de fontes alternativas renováveis (pequenas centrais hidrelétricas, usinas eólicas e empreendimentos termelétricos a biomassa) na produção de energia elétrica, beneficiando empreendedores que não tenham vínculos societários com concessionárias de geração, transmissão ou distribuição.

Essa ação de cunho estrutural foi importante para alavancar os ganhos de escala, o aprendizado em novas tecnologias, assim como para aumentar a competitividade nos mercados interno e externo e, principalmente, na identificação e assimilação dos benefícios ambientais, socioeconômicos e técnicos no sentido econômico energético de projetos de geração motivados em fontes limpas e sustentáveis.

Através da Portaria nº 538/2015, assinada no dia 15 de dezembro, o Ministério de Minas e Energia, criou o PROGD (Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica), buscando ampliar e aprofundar as ações de estímulo à geração de energia pelos consumidores, com base nas fontes renováveis de energia (especialmente a solar fotovoltaica).

A geração distribuída traz benefícios para o consumidor e para o setor elétrico, está no centro de consumo, o que reduz a necessidade de estrutura de transmissão elétrica evitando perdas. Estima-se que até 2030, aproximadamente 2,7 milhões de unidades consumidoras poderão estar colaborando através desta modalidade de geração de energia, resultando em 23.500 MW de energia limpa e renovável, o equivalente à metade do que é produzido na Usina Hidrelétrica de Itaipu. Com isso o Brasil poderia evitar a emissão de 29 milhões de toneladas de CO_2 na atmosfera (MME, 2015).

O Programa apresenta as seguintes metas para Matriz Elétrica:

- Reduzir as emissões de gases de efeito estufa, em relação aos níveis de 2005, em 37% até 2025, e em 43% até 2030;
- Até 2030 alcançar 23% de participação de energias renováveis (além da energia hídrica) no fornecimento de energia elétrica;
- Alcançar 10% de ganhos de eficiência no setor elétrico até 2030.

Conforme o MME, o programa apresenta ainda alguns pontos relevantes entre ações e objetivos que convém destacarmos:

- Incentiva a atuação de agentes vendedores de energia e empreendimentos de geração distribuída;
- Estabelece os valores de referência específicos (VREs) e os índices de atualização;
- Prevê estudos para permitir a venda de energia no mercado livre de energia (ACL);
- Institui um grupo de trabalho (GT) com o MME, ANEEL, EPE, CEPEL e CCEE para acompanhar as ações e propor aprimoramentos legais, regulatórios e tributários para o estímulo a geração distribuída;
    - Incentivo a indústrias e comercio com foco no desenvolvimento tecnológico, produtivo e inovação;

- Fomentar a capacidade e a formação de recursos humanos para atuar na geração distribuída nos setores de projeto, instalação e manutenção;
- Instalação de sistemas de geração distribuída baseadas em painéis fotovoltaicos para universidades e escolas técnicas federais, extensível a hospitais federais.

Foi aprovado na Comissão de Serviços de Infraestrutura do Senado o projeto de Lei 371 de 2015, de autoria do Senador Ciro Nogueira, que altera a Lei nº 8.036, de 11 de maio de 1990, para permitir o uso de recursos do Fundo de Garantia do Tempo de Serviço (FGTS) na aquisição e na instalação de equipamento destinados à geração própria de energia elétrica em residências. (O projeto se encontra em tramitação).

O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) foi autorizado pela Lei nº 13.203, de 8 de dezembro de 2015, a apoiar com recursos a taxas diferenciadas projetos de eficiência energética, e de geração distribuída por fontes renováveis em escolas e hospitais públicos.

A expectativa é que, através destas ações de estímulo à Geração Distribuída, o custo para instalação dos sistemas reduza pela metade até 2030, permitindo uma expansão significativa para o setor. Ademais, estima-se que o retorno do investimento financeiro ocorra em um período máximo de 10 anos.

4.5. GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

A geração distribuída é uma expressão empregada para denominar a geração elétrica realizada junto ou próxima dos consumidores, independentemente da potência, tecnologia e fonte de energia. A GD exibe vantagens sobre a geração central, uma vez que essa economiza investimentos em transmissão e reduz as perdas no sistema, melhorando a estabilidade do serviço de energia elétrica (INEE, 2014).

A versão atualizada do manual para Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST[3]), criado pela resolução normativa 345 da ANEEL em 2008 – alterada em 2012 – neste documento, Geração Distribuída

[3] PRODIST – são documentos elaborados pela ANEEL que normatizam e padronizam as atividades técnicas relacionados ao funcionamento e desempenho dos sistemas de distribuição de energia elétrica.

(GD) é definida como “centrais geradoras de energia elétrica, de qualquer potência, com instalações, conectadas diretamente no sistema elétrico de distribuição ou através de instalações de consumidores, podendo operar em paralelo ou de forma isolada e despachadas – ou não – pelo ONS” (Operador Nacional do Sistema Elétrico).

No Brasil, o conceito de GD já havia sido citado a partir do Artigo 14º do Decreto Lei nº 5.163/2004: “Considera-se geração distribuída toda produção de energia elétrica proveniente de agentes concessionários, permissionários ou autorizados, conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador”. Não são consideradas GD empreendimentos hidrelétricos com capacidade instalada superior a 30 MW e termelétricos inclusive de cogeração, com eficiência energética inferior a 75%. No entanto, termelétricas que utilizem biomassa ou resíduos de processo como combustível não são limitados por esse percentual (MARTINS, 2015).

Na geração distribuída, predominam as fontes limpas e renováveis atualizadas, como a solar fotovoltaica e a eólica, que colaboram para redução da emissão de gases do efeito estufa. O desenvolvimento da geração distribuída faz com que novos investimentos na geração centralizada (como grandes centrais hidrelétricas, usinas termelétricas, redes de distribuição, etc.) sejam postergados, sendo assim redimensionados e realocados no tempo. Isso significa deixar de utilizar fontes mais poluentes como térmicas e combustíveis fósseis.

O Brasil possui sol e vento em grande quantidade, potencializando a expansão da geração distribuída, forma na qual os consumidores geram sua energia com a garantia de que estão utilizando uma fonte de energia sustentável e renovável, além disso, estão reduzindo seus custos. Atualmente, o investimento para gerar sua própria energia em uma residência custa em média R$27 mil. Acredita-se que com ações de estimulo à Geração Distribuída esse custo para instalação dos sistemas possa reduzir pela metade até 2030 (MME – 2015).

O incentivo a geração distribuída pode ajudar a gerar empregos e renda em todo país, com a estruturação de novas cadeias produtivas industriais e serviços, responsáveis por atender à demanda por equipamentos, instalação e manutenção. Conforme dados da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR), a cada 1MW de energia solar fotovoltaica instalada (centralizada ou distribuída), são criados entre 25 e 30 empregos diretos, e a ampliação da geração distribuída poderá contribuir para dinamizar e aquecer a economia do país.

4.5.1. GERAÇÃO CONECTADA E REDE (ON GRID) E ISOLADA DA REDE (OFF-GRID)

Conforme explica Martins (2015), as gerações distribuídas podem ser consideradas de duas formas: isoladas da rede ou conectadas a rede de distribuição local. No Brasil, até o ano de 2012, a aplicação da tecnologia de geração distribuída era observada apenas em zonas rurais, localidades isoladas, distantes das redes de distribuição utilizada como forma de garantir o acesso à eletricidade.

Esse sistema de geração de energia descentralizada costuma ser chamado de sistema isolado, ou off-grid. Podem ser analisadas duas aplicações, através de um sistema fotovoltaico com utilização de baterias para acúmulo de energia, nas horas de sol, que posteriormente será utilizada nas horas que o sistema não esteja produzindo. Outra forma de aplicação ocorre pelo uso dedicado da energia proveniente do sistema fotovoltaico, levando em consideração o uso simultâneo do consumo e a produção de energia dispensando a utilização de baterias.

O mesmo autor evidencia a diferença em relação ao sistema conectado à rede, conhecido na literatura como *on-grid*, onde os consumidores estão conectados e injetando energia na rede de distribuição. Esta tecnologia vem sendo implantada no mundo com muito sucesso. No Brasil, passou a ser considerada com mais assiduidade após a Resolução Normativa 482/2012, responsável por regulamentar a microgeração e a minigeração, distribuída assim como a instalação desses sistemas conectados à rede de distribuição elétrica.

Conforme já foi dito, esta resolução admite que os consumidores tenham a capacidade de gerar sua própria energia utilizando a rede como meio de armazenamento, o que reduz o custo de investimento em baterias. Estes sistemas de energia são vistos em países que apresentam políticas de incentivos aos consumidores, que desejam produzir sua própria energia, tais como Alemanha, Estados Unidos, Espanha, entre outros.

A partir do conceito de geração distribuída, pode-se dizer que esta tecnologia será responsável pela maior estabilidade e inteligência do sistema, contribuindo para o desenvolvimento das futuras cidades inteligentes. A GD proporciona aumento nos

níveis de confiança, economia e qualidade ambiental, graças à introdução de novas técnicas de geração descentralizada a partir de fontes renováveis (LORA E HADDAD, 2006 apud MARTINS, 2015).

O Brasil atravessa um momento de crise hídrica, onde os reservatórios das hidrelétricas apresentam nível abaixo do normal, gerando a necessidade de ativar as termoelétricas que possuem um custo invariavelmente elevado. Nesse sentido, a micro e mini geração de energia vem se tornando uma aposta das autoridades governamentais e da agência reguladora de energia elétrica, com capacidade para complementar o sistema brasileiro.

4.6. MICROGERAÇÃO E MINIGERAÇÃO

De acordo com a RN 482/2012, responsável por constituir as condições regulatórias para a inserção de geração distribuída na matriz energética brasileira, estão assim definidas micro e minigeração:

- MICROGERAÇÃO DISTRIBUIDA: Central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada à rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;
- MINIGERAÇÃO DISTRIBUIDA: Central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3MW para fontes hídricas ou menor igual a 5 MW para cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL ou para as demais fontes renováveis de energia elétrica, conectada à rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras;

Serão apresentadas abaixo informações atualizadas pela Nota Técnica nº 56/2017, disponibilizada em 24 de maio de 2017, contendo dados relativos a micro e minigeração de energia no horizonte 2017-2024. Após a publicação da RN 482/2012, iniciou-se no país um lento processo de difusão de micro e minigeradores distribuídos, o qual começou a acelerar a partir de 2016. A Figura nº 9 apresenta os valores acumulados de conexões e consumidores que recebem os créditos de micro e minigeração distribuída até o dia 23/05/2017.

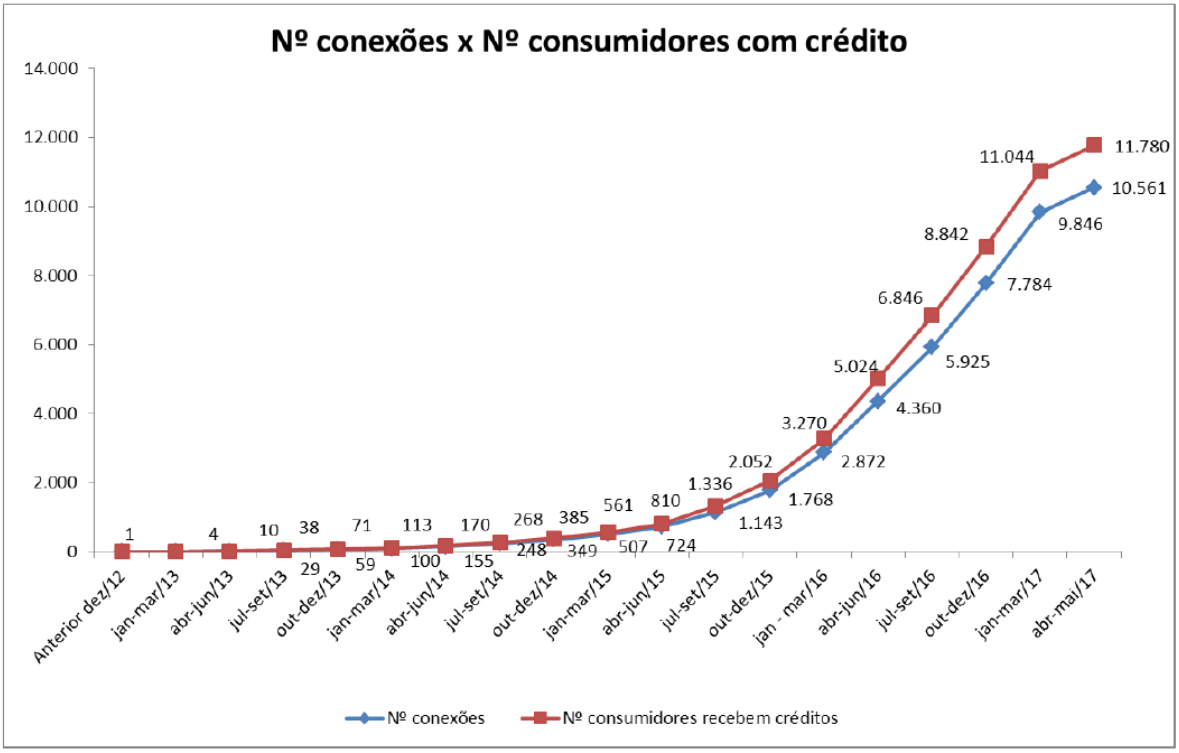

Figura n° 9: Número de Micro e Minigeradores até 23/05/2017
Fonte: ANEEL – 2017

Conforme apresentado na figura nº 9, o número de consumidores com micro ou minigeração distribuída no final de 2016 é 4,4 vezes superior ao registrado no final de 2015, mostrando um crescimento relevante no último ano. Entretanto, ainda é considerado baixo em relação ao potencial de expansão do mercado no Brasil.

A Figura nº 10 projeta a distribuição dos geradores instalados por fonte de energia, indicando que a fonte solar fotovoltaica responde por 99% do número total de instalações.

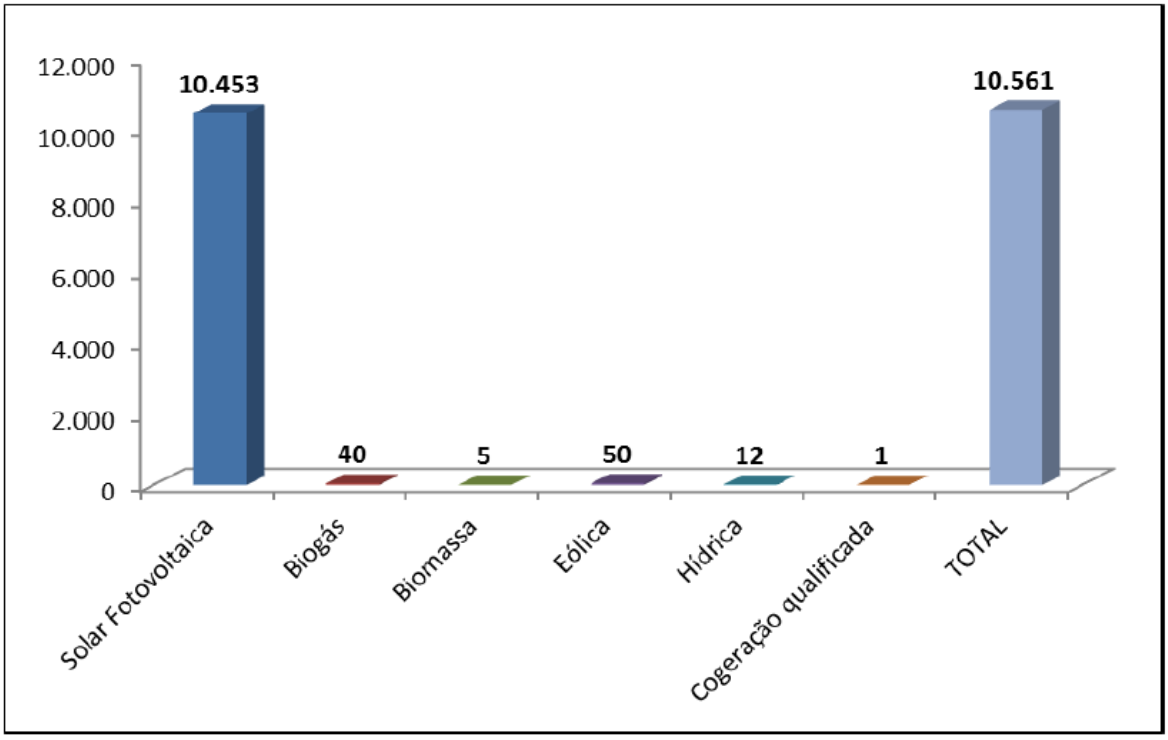

Figura nº 10: Conexão por tipo de fonte até 23/05/2017
Fonte: ANEEL – 2017

Em relação a potência instalada, através da Figura nº 11 podemos verificar que a fonte de energia solar responde por 70%, conforme apresentado abaixo.

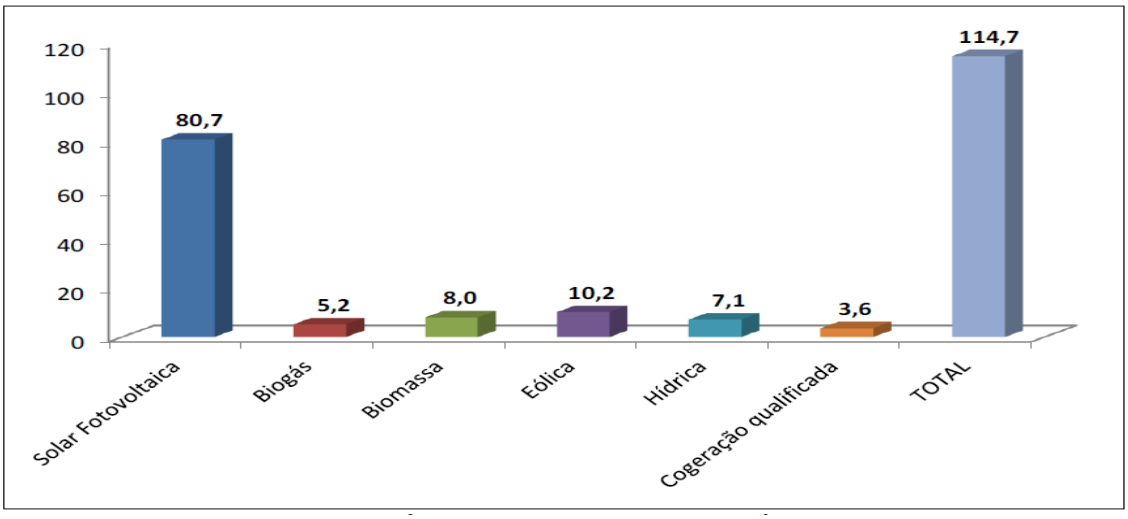

Figura nº 11: Potência instalada por fonte até 23/05/2017
Fonte: ANEEL – 2017

A Figura nº 12 exibe a evolução da potência instalada desde 2012, mostrando o intenso crescimento em 2016. Um aumento de aproximadamente 407%, em relação ao ano de 2015.

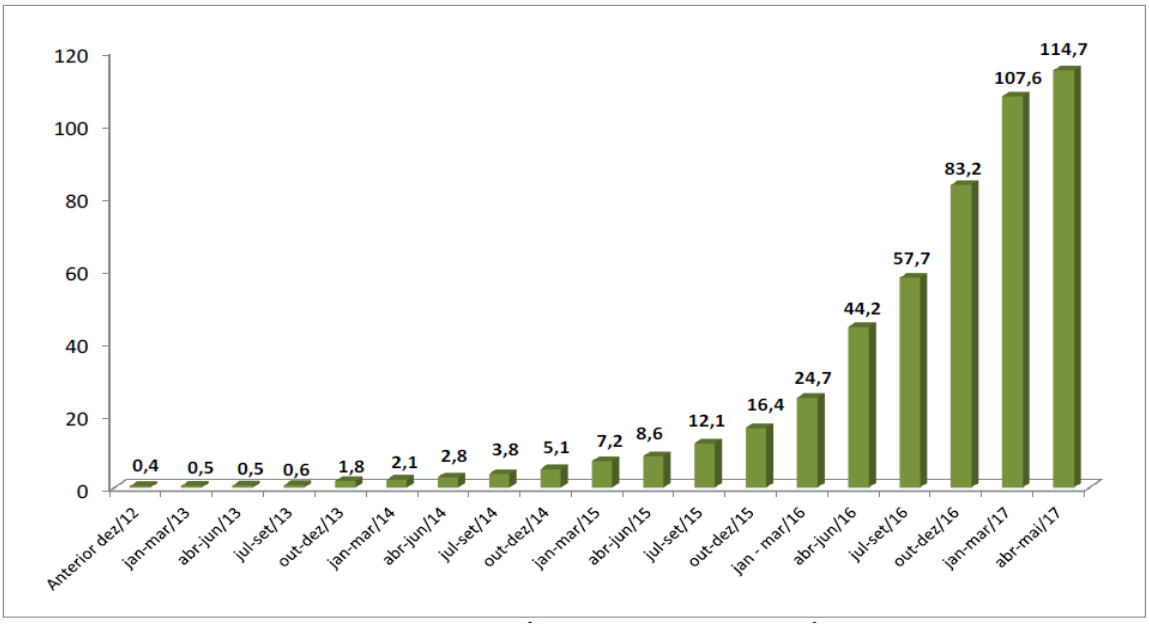

Figura nº 12: Evolução da potência instalada (MW) até 23/05/2017
Fonte: ANEEL – 2017

Em relação a participação das unidades consumidoras, destacam-se as classes residencial (79,5%) e comercial (15%), conforme ilustra a figura nº 13.

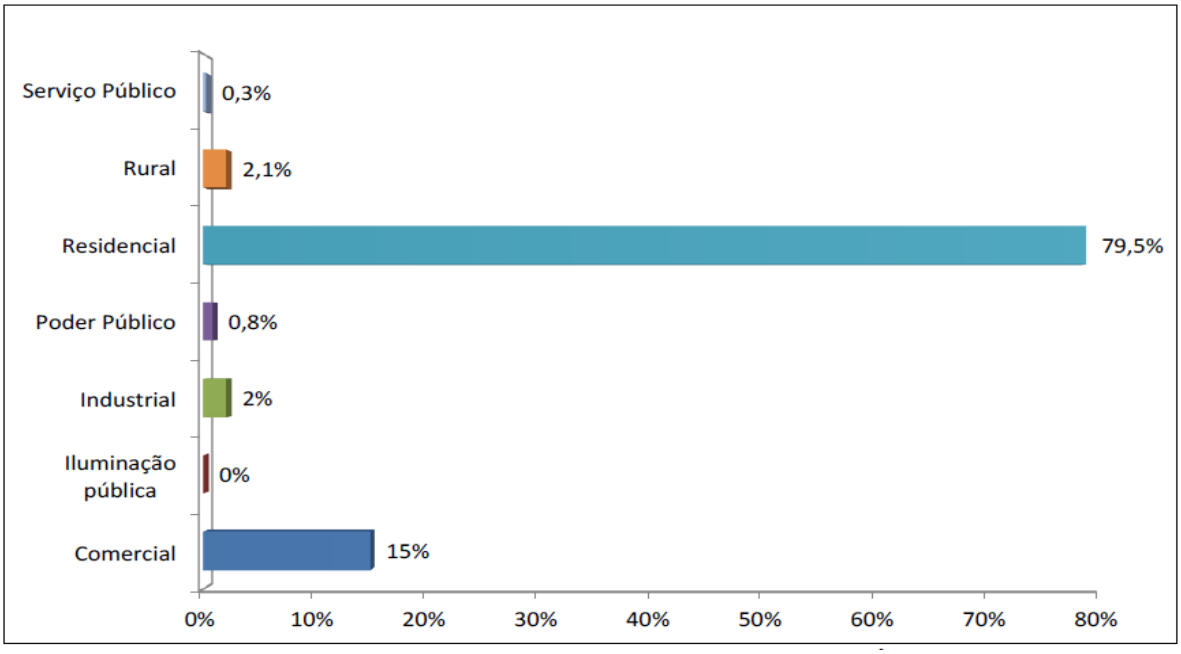

Figura nº 13: Classes de consumo dos consumidores até 23/05/2017
Fonte: ANEEL

Através da coleta de dados, foi possível perceber que 72% dos equipamentos instalados têm potência menor ou igual a 5kW, que é pertinente ao perfil dos consumidores residenciais, conforme ilustra a figura nº 14.

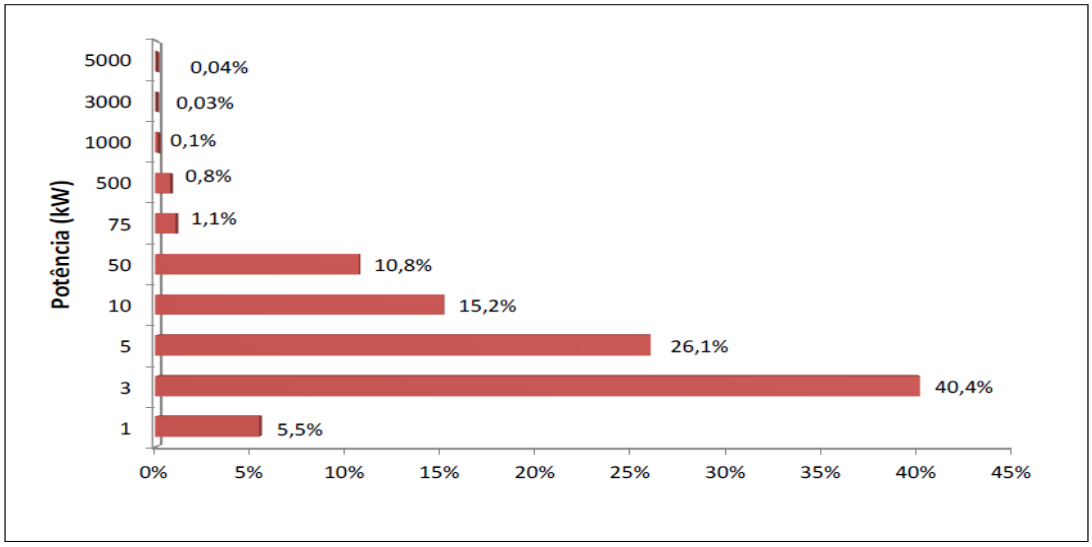

Figura nº 14: Faixas de potência dos geradores até 23/05/2017
Fonte: ANEEL

No que diz respeito às modalidades de geração distribuída, a figura nº 15 apresenta a quantidade de consumidores que recebem os créditos, destacando que no caso de geração na própria unidade consumidora (UC) o sistema atende apenas o próprio local de consumo. Porém, nos outros casos a geração é destinada a mais de uma instalação, seguindo os padrões estabelecidos na RN 482/2012.

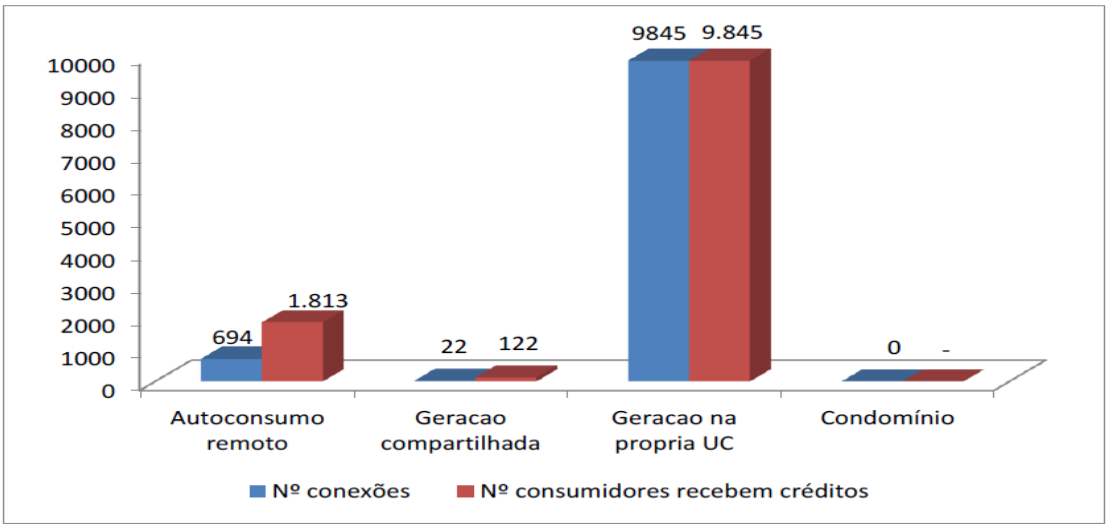

Figura nº 15: Modalidade de geração distribuída até 23/05/2017
Fonte: ANEEL

4.7. NET METERING – SISTEMA DE COMPENSAÇÃO

Uma importante inovação, trazida pela Resolução Normativa nº 482/2012, é o Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Esse sistema admite que a energia

excedente produzida pela unidade consumidora, através de micro ou minigeração, seja injetada na rede de distribuição, essa por sua vez funcionará como uma bateria, armazenando esse excedente.

A Resolução Normativa ANEEL Nº 482/2012 define o Sistema de Compensação como um arranjo no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com micro ou minigeração distribuída é cedida, por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa dessa mesma unidade consumidora ou de outra unidade consumidora de mesma titularidade.

Esse sistema é também conhecido pelo termo em inglês *Net Metering*. Nele, um consumidor de energia elétrica instala pequenos geradores em sua unidade consumidora (como, por exemplo, painéis solares fotovoltaicos ou pequenas turbinas eólicas) e a energia gerada é usada para abater o consumo de energia elétrica da unidade. Quando a geração for maior que o consumo, o saldo positivo de energia poderá ser utilizado para abater o consumo em outro posto tarifário ou na fatura do mês subsequente. Os créditos de energia gerados são válidos por 60 meses.

Conforme destacado no Caderno Temático ANEEEL – Micro e Minigeração Distribuída 2º edição, ainda há possibilidade de o consumidor utilizar esses créditos em outras unidades previamente cadastradas dentro da mesma área de concessão e caracterizada como autoconsumo remoto, geração compartilhada ou integrante de empreendimentos de múltiplas unidades consumidoras, ou seja, condomínios em local diferente do ponto de consumo, definidas da seguinte forma:

- Geração Compartilhada: caracterizada pela reunião de consumidores dentro da mesma área de concessão ou permissão, por meio de consórcio ou cooperativa, composta por pessoas física ou jurídica, que possua unidade consumidora com micro ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras, nas quais a energia excedente será compensada;
- Autoconsumo remoto: caracterizado por unidades consumidoras de titularidade de uma mesma Pessoa Jurídica, incluídas matriz e filial, ou Pessoa Física que possua unidade consumidora com micro ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras, dentro da mesma área de concessão ou permissão, nas quais a energia excedente será compensada;

- Empreendimentos com múltiplas unidades consumidoras (condomínios): caracterizado pela utilização da energia elétrica de forma independente, no qual cada fração com uso individualizado constitua uma unidade consumidora e as instalações para atendimento das áreas de uso comum constituam uma unidade consumidora distinta, de responsabilidade do condomínio, da administração ou do proprietário do empreendimento, desde que as unidades consumidoras estejam localizadas em uma mesma propriedade ou em propriedades vizinhas.

4.8. SISTEMA DE MEDIÇÃO

O sistema de medição precisa considerar as mesmas especificações determinadas para unidades consumidoras integradas no mesmo nível de tensão da microgeração ou minigeração distribuída, acrescido da funcionalidade de medição bidirecional de energia elétrica (medição de consumo e geração).

A medição bidirecional pode ser realizada através de dois medidores unidirecionais, sendo um para aferir a energia elétrica ativa consumida e o outro para energia elétrica ativa gerada, caso seja alternativa de menor custo ou exista por parte do consumidor esta solicitação.

A distribuidora é responsável por obter e instalar o sistema de medição, sem custos para o consumidor que ingressar no caso de microgeração distribuída, assim como pela operação e manutenção, incluindo custos de uma eventual substituição.

No caso de minigeração distribuída, o consumidor que ingressar será responsável por ressarcir a distribuidora pelos custos de adequação do sistema de medição, nos termos da regulamentação específica.

4.9. CUSTOS

Como a iniciativa de instalação do projeto de micro ou minigeração distribuída é do próprio consumidor, a ANEEL não estabelece o custo dos geradores nem eventuais financiamentos. De acordo com orientações da ANEEL, a análise de

custo/benefício deve ser realizada individualmente por cada consumidor, visto que cada caso envolve suas particularidades. Há várias circunstâncias que devem ser consideradas, como o tipo de fonte de energia (painéis solares, turbinas eólicas, geradores a biomassa, etc), tecnologia dos equipamentos de geração, porte da unidade consumidora e da central geradora, localização (rural ou urbana), tarifação a qual a unidade consumidora está submetida, condições de pagamento/financiamento do projeto, além da existência de outras unidades consumidoras que possam desfrutar dos créditos do sistema de compensação de energia elétrica.

4.10. SMART GRID

Ainda que exista várias definições para o conceito de Smart Grid[4] (Rede Inteligente) entendemos que o mais abrangente é o que descreve a rede inteligente como redes de transmissão e distribuição de eletricidade que utilizam um sistema bidirecional, comunicação de banda larga, sensores e computadores para garantir a eficiência, a confiabilidade e a segurança do abastecimento de energia. Levando em conta que este sistema tem a capacidade de aliar tecnologia de informação (TI) e telecomunicação (TE) de maneira extensiva, em todos os processos de geração, fornecimento e consumo de energia, com a finalidade de minimizar o impacto ambiental, melhorar a qualidade e a flexibilidade dos serviços aumentando a eficiência energética (GARRIDO, 2008, apud TIMOSSI, 2016). Sendo assim, o conceito de rede inteligente se apresenta como uma tecnologia que possibilita o uso eficiente da energia elétrica e, assim, configura-se como importante ferramenta para enfrentar os desafios do futuro.

A *Smart Grid* se refere a um conjunto de tecnologias e regulamentações governamentais, que dizem respeito ao consumo e geração de energia elétrica e que vem a cada dia ganhando mais destaque no cenário mundial. Muitos países já estão investindo em pesquisa, com o objetivo de desenvolver e construir elementos para colocar em funcionamento a tão sonhada rede inteligente. Empresas conceituadas no cenário mundial estão empenhadas nesse mercado. Assim como congressos e

[4] A tradução literal de Smart Grid é algo como Rede Inteligente ou Rede Esperta. Como não existe ainda um uso consagrado em Português, neste trabalho foi conservada a expressão em inglês.

seminários, têm sido organizados no mundo todo a fim de divulgar e esclarecer o assunto. Com destaque para Estados Unidos, Japão e Alemanha entre outros.

O termo *Smart Grid* foi utilizado pela primeira vez em 2005, quando S. Massoud Amin e Bruce F. Wollenberg escreveram um artigo que foi publicado na revista IEEE P&E, com o título de “Toward A Smart Grid”. Existem muitas definições para o conceito de redes inteligentes, mas todas têm o mesmo sentido, o uso de elementos digitais e de comunicações nas redes que transportam energia.

Falcão, Djalma M. (2009) esclarece que a expressão *Smart Grid* deve ser entendida mais como um conceito do que uma tecnologia ou equipamento específico. Ela traduz a ideia de utilização intensiva de tecnologia da informação (TI) na rede elétrica, valendo-se da possibilidade de comunicação entre os diversos componentes da rede, permitindo a inserção de estratégias de controle e otimização que tornariam a rede mais eficaz e poderosa em relação ao atual padrão que conhecemos e utilizamos.

Grandes empresas do setor elétrico mundial têm migrado de uma topologia de redes unidirecional e constituída pelas grandes fontes de geração para outras multidirecional e mais interativa com os consumidores. Este fluxo presume alterações no modelo de negócios associado ao setor que afetará todos atores envolvidos (empresas de energia, reguladores, provedores de tecnologia e serviços e consumidores). A nova rede será mais eficiente e segura, adaptativa, interativa, capaz de gerar novas oportunidades de negócios, além disso atuará com foco no menor impacto ambiental (ANEEL – Projeto Estratégico Chamada nº 011/2010)

Para colocar em prática o conceito de Smart Grid, são necessárias algumas transformações, entre elas estão a modernização da infraestrutura, criação de categorias digitais, como softwares e capacidade de processamento de dados, que são o cerne da rede inteligente, assim como mudanças na comercialização, indispensáveis para aumentar o número de consumidores com acesso.

Desse modo, existe a possibilidade de transformar a demanda de energia por meio da disponibilização de equipamentos de medição e controle do consumo e produção da mesma, fazendo com que a energia se torne um elemento do planejamento, da operação e expansão do sistema. Este fato denominado

empoderamento[5] do consumidor, faz com que o consumidor de energia elétrica tenha mais voz ativa no processo de geração, transporte e consumo da energia elétrica.

Apesar dos bons serviços proporcionados à sociedade até agora, os sistemas de energia deixaram de aliar muitos avanços tecnológicos, disponíveis a um custo relativamente pequeno, e que poderiam apresentar níveis de credibilidade e qualidade de suprimento, mais apropriados a sociedade digital em que vivemos.

A forma de produzir energia elétrica também vem sendo muito criticada nos últimos anos, grandes centrais geradoras, sejam hidrelétricas, termelétricas convencionais ou nucleares, causam inevitavelmente grandes impactos sociais e ambientais para as suas construções. Podendo se dizer o mesmo dos sistemas de transmissão. Alternativas de geração distribuída que utilizam fontes não convencionais, cada vez mais se tornam competitivas quando consideramos não somente o custo econômico, mas também benefícios de outras naturezas.

A Figura 16 ilustra os fatores motivadores da introdução de modificações nos sistemas de energia elétrica.

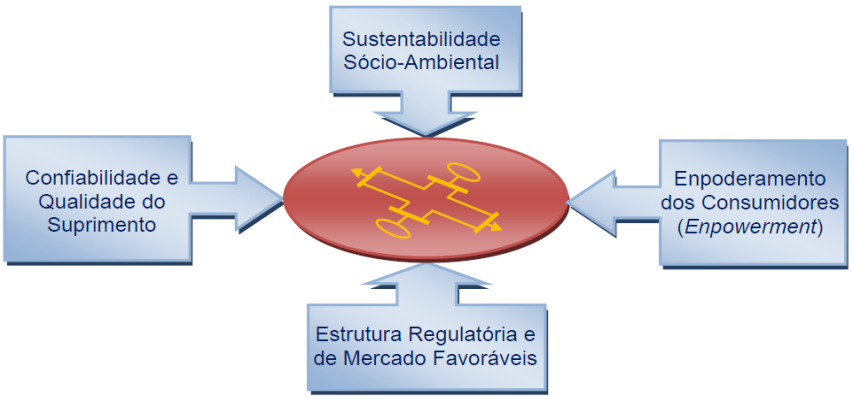

Figura 16: Fatores motivadores da introdução de Smart Grids e Micro redes
Fonte: Falcão M. Djalma – Smart Grids e Micro redes: O Futuro já é presente.

Para modernização da rede, alguns conceitos devem ser considerados:

- Confiabilidade;

[5] Empoderamento – é uma adaptação recente, bem utilizada, da palavra da língua inglesa, *empowerment*, a qual significa dar poder ou autoridade a alguém.

- Eficiência;
- Segurança;
- Questões Ambientais.

A introdução de modernos equipamentos de monitoramento, controle e essencialmente de medição, os chamados *smart meters* (medidores inteligentes) está determinando uma revolução na forma de projetar e operar os sistemas elétricos.

Um dos principais elementos das smart grids é o medidor inteligente. A medição inteligente ajuda a estruturar a geração de energia e o consumo de energia de um modo mais eficiente, essa eficiência energética pode influenciar diretamente para que o fornecimento de energia seja mais confiável em um ambiente mais sustentável no futuro. Todavia, as funcionalidades do sistema não estão apenas relacionadas com o fato de se instalar medidores inteligentes nos consumidores, elas vão muito além disso.

As principais funções exigidas em uma rede inteligente são:

- Auto recuperação: capacidade de automaticamente detectar, analisar, responder e restaurar falhas na rede;
- Empoderamento dos consumidores: motivar os consumidores a serem mais participativos, coleta e avaliação dos dados de equipamentos e comportamento dos consumidores, para assim planejar um comportamento mais eficiente da rede;
- Maior resistência a ataques físicos e cibernéticos;
- Fornecer uma energia de melhor qualidade, exigida por uma sociedade digital mais bem informada;
- Capacidade para gerir vários tipos de geração e armazenagem de energia;
- Coibir o impacto ambiental do sistema produtor de energia elétrica, reduzindo perdas, empregando fontes de baixo impacto ambiental;
- Possibilitar e se valer de mercados competitivos de energia, beneficiando o mercado varejista e a micro e mini geração distribuída.

Além dessas características, as concessionárias de energia elétrica devem estar atentas à alguns desafios. Conforme destacados por (TOLEDO et al., 2012 apud TIMOSSI, 2016):

- A inevitável penetração de novas fontes de geração e armazenamento de energia;
- A potencial mudança do perfil do cliente de energia elétrica, por exemplo, o advento de consumidores móveis de energia, tais como veículos elétricos e híbridos recarregáveis;
- A necessidade de lidar com a bidirecionalidade energética e de informação, em tempo real, relacionada a tais tecnologias;
- A adequação a metas ligadas à sustentabilidade do planeta e à tendência de cidade e habitats inteligentes;
- A gestão otimizada do crescimento significativo da carga anual;
- As respostas à crescente expectativa dos clientes em relação à qualidade do fornecimento de energia, assim como aos anseios do regulador e das demais autoridades;
- A necessidade de redução de custos operacionais, como, por exemplo, aqueles relativos a perdas e inadimplência;
- A tendência de competição no mercado de energia elétrica direta ou indiretamente.

Com o propósito de que os objetivos propostos por meio da implantação das redes inteligentes sejam atingidos, é indispensável uma arquitetura de automação nos sistemas de distribuição de energia elétrica avançada, mais especificamente um sistema de Supervisão, Controle e Aquisição de Dados (SCADA), integrado ao desenvolvimento e implantação de (MICELE et al., 2013).

- Utilização de sensores para o monitoramento da rede elétrica;
- Sistemas de transmissão de dados;
- Sistemas autônomos com capacidade de decisão na rede de automação e acesso remoto.

Essa arquitetura dinâmica e moderna é quem dará informações para implantação de inteligência dentro das redes elétricas, assim como permitirá a configuração de um sistema que atue de forma mais eficiente e autônoma.

Conforme Timossi (2016), um dos grandes desafios para implantação e validação do que sugerem as redes inteligentes é o pensamento conservador sobre a arquitetura do sistema de distribuição de energia elétrica. Para o emprego desse novo

sistema, é necessária uma reformulação no modo de operar da maioria das empresas distribuidoras de energia elétrica.

A automação dos controles tem o propósito de colaborar para a diminuição do número de falhas, estendendo a vida da linha de transmissão e tornando mínimo o número indesejado de interrupções no fornecimento de energia. Através da utilização do fluxo de energia bidirecional, o sistema tem a probabilidade de operar de maneira mais estável e equilibrada especialmente nos horários em que o consumo é mais elevado. Essa bidirecionalidade faz com que as unidades consumidoras adquiram a função de fornecedores de energia, seguindo a necessidade do sistema (COLAK et al., 2014 apud TIMOSSI, 2016).

A implantação desse conceito tem, como grande virtude, um novo posicionamento do consumidor, incluso na rede de distribuição, atuando por vezes como cliente, e em outras como fornecedor. A medição inteligente já é objetivo de estudos de várias concessionárias de distribuição de energia atuantes no cenário nacional. Somente após a troca dos medidores, utilizados atualmente em todas as concessionárias por medidores inteligentes, é que será possível a utilização dessa tecnologia.

Inserido nesse contexto, o medidor inteligente é um equipamento altamente moderno, capaz de, além da função tradicional, conciliar ao mesmo tempo o fornecimento de várias informações da unidade consumidora à concessionária em tempo real. A conexão entre medidores e programas que realizam a interface entre consumidores e distribuidoras, abrangem uma grande variedade de técnicas, que se ajustam conforme a necessidade do projeto (DEPURU et al, 2011).

Dentro do conceito de Smart Grid, podemos relacionar várias áreas, mas algumas precisam ser priorizadas tendo em vista a concretização do projeto. Podemos considerar as seguintes áreas:

4.10.1. COMUNICAÇÃO

Uma das funcionalidades mais importantes dos *Smart Meters* é a capacidade de se comunicar com outros equipamentos instalados na rede, ou até mesmo dentro das unidades consumidoras. Essa inovação será responsável por uma acentuada mudança na prestação de serviços de energia.

Já existem no mercado várias tecnologias disponíveis, as quais são capazes de gerenciar essa comunicação. Para escolher entre uma delas, será necessário levar em consideração alguns fatores, como a topologia, o preço, a disponibilidade, o alcance e a viabilidade.

A escolha do protocolo é uma das decisões mais importantes a respeito da comunicação de dados, o uso de um protocolo fechado poderia causar aumento nos preços e até mesmo falta de competição no setor. Logo, seria mais adequado a utilização de um protocolo público, tornando capaz a utilização de equipamentos dos mais variados fabricantes e garantindo a livre concorrência.

4.10.2. AUTOMAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO

Os sistemas de distribuição são os que estão sendo mais recompensados pela tecnologia de Smart Grid. Os medidores eletrônicos agregam uma série de novas funcionalidades em relação ao antigo medidor eletromecânico de KWh, constituindo-se em um *Smart Meter*, este por sua vez é responsável por inovações importantes. Dentre elas estão as seguintes:

- AMR (*Automatic Meter Reading)*: sistema de coleta automática de dados dos medidores de energia, com capacidade de transferência para um sistema centralizado de processamento. Através desse sistema, é possível economizar nas despesas com pessoal para leitura e transcrição de dados em relação ao consumo de energia, proporcionando uma melhor averiguação das informações. A transmissão das informações pode ser realizada por diferentes redes de transmissão, inclusive wireless (Wifi, WiMax, Zigbee, etc,).

- AMI (*Advanced Metering Infrastructure*): representa um avanço em relação ao AMR, uma vez que, além de coletar as informações, o sistema também admite analisar a demanda, influenciando na resposta da demanda através da disponibilização de sinais de preços e atuação em dispositivos das unidades consumidoras. Para que isso ocorra, o sistema requer a comunicação de mão dupla, entre a concessionária e as instalações do consumidor e vice-versa e um sistema de processamento de dados mais sofisticado.

Dependem dessa comunicação funções como suspensão e religação remotas do fornecimento de energia, informações sobre o consumo em tempo real, assim como postos tarifários vigentes. Quando todos os componentes e sistemas estiverem operando de forma integrada, será alcançado um novo conceito chamado interoperabilidade.

Conforme Relatório *Smart Grid* dos Ministérios de Minas e Energias – 2010, a interoperabilidade permite a integração, o funcionamento cooperado e a comunicação bidirecional entre vários elementos interconectados do sistema elétrico.

A questão da interoperabilidade é importante, sua inexistência poderá criar monopólios, causando impacto na economia. Para que seja eficiente, deverá ser elaborada uma padronização de interfaces, protocolos entre outros elementos de interconexão. Por isso é muito importante que o governo não meça esforços para criação de padrões abertos ou públicos para, assim, expandir a competição no mercado.

4.10.3. SENSORIAMENTO

A instalação de sensores no sistema de distribuição de energia elétrica é mais um passo importante e definitivo para que a rede se torne inteligente. Através destes sensores, será possível colocar em prática outro conceito que é fundamental para o bom funcionamento de um sistema inteligente capaz de ser configurado para atender as necessidades de oferta ou demanda por energia elétrica.

O conceito de *self healing* (Auto recuperação ou Reconfiguração) é o que apresenta maior potencial para contribuir com as concessionárias distribuidoras de

energia elétrica, a fim de melhorar os índices de qualidade de fornecimento e redução dos impactos causados em função dos desligamentos indesejados na rede. (CAVALCANTE et al., 2016 apud TIMOSSI, 2016).

Pela implantação de um sistema baseado em reconfiguração, um dos principais benefícios é a atuação direta na redução do tempo de reposição de serviço, a redução do número de clientes afetados com uma interrupção e, consequentemente, a redução dos custos com as interrupções no fornecimento de energia elétrica (MOREIRA, 2011).

Entre alguns indicadores de qualidade de fornecimento de energia, podemos destacar o DEC (Duração equivalente de interrupção por unidade consumidora) e o FEC (Frequência equivalente de interrupção por unidade consumidora), estes índices são seguidos de forma rigorosa pela ANEEL e quando as concessionárias não conseguem atender os limites estabelecidos pela Agência são penalizadas.

Atualmente, quando ocorre um desligamento do consumidor de forma indesejada, seja qual for o motivo, o reestabelecimento do circuito é feito através de uma ação conjunta entre o centro de operações e as equipes de campo, buscando a identificação da falha e tentando estabelecer uma nova topologia para a rede, até que a irregularidade seja resolvida.

Uma das contribuições dos sistemas de reconfiguração é fazer com que essa atividade de manutenção, que por hora ocasiona a interrupção do sistema, seja executada de forma independente, sem a necessidade da intervenção humana durante o processo. Outra característica do sistema é permitir o remanejamento de carga ociosa, transferindo carga de um circuito com maior carregamento para outros em que for identificado um menor número de consumidores conectados. Com essa adaptação o equilíbrio do sistema é reestabelecido, consequentemente os ganhos com qualidade da energia ofertada ao consumidor aumentam consideravelmente.

4.10.4. EXPECTATIVAS PARA AS REDES INTELIGENTES COM VEÍCULOS ELÉTRICOS.

Barbosa (2010) já discorreu sobre o assunto, relatando que veículos elétricos não são uma tecnologia recente. Por volta de 1837, Robert Davidson Aberdeen havia desenvolvido um carro movido por uma bateria rústica de ferro e zinco e impulsionado por um motor elétrico. Mais tarde, em 1990 foi desenvolvido na Califórnia um novo veículo elétrico, com capacidade para ser amplamente comercializado no mercado, contudo o mesmo foi barrado por diversos interesses comerciais e por falta de incentivo do governo.

O mesmo autor menciona ainda que a frota de veículos movidos a combustão vem aumentando muito no mundo inteiro. Por consequência, a poluição gerada por eles também aumenta. Talvez seja essa perturbação que possa alterar a indústria e o mercado de automóveis, a necessidade de reduzir as emissões de gases prejudiciais ao meio ambiente.

Atualmente, os interesses e investimentos estão espalhados por todo mundo e não mais centralizados. Apenas em uma região a veiculação das informações é mais acelerada, fazendo com que o interesse por partes dos consumidores aumente. Além disso, outro ponto a favor do veículo elétrico (VE) diz respeito a sua eficiência, veículos com motores elétricos possuem uma eficiência de 90%, enquanto que veículos equipados com motor a combustão apresentam uma eficiência de 30% (BARBOSA, 2010). O avanço da tecnologia relacionada as baterias desses veículos vem contribuindo para autonomia dos mesmos se tornarem maiores gerando mais um atrativo.

Conforme o Atlas Brasileiro de Energia Solar 2º Edição, os veículos elétricos já são uma realidade em diversos países e nos próximos anos farão parte do cenário urbano brasileiro. O emprego de VEs requer novas demandas por energia elétrica, que podem ser abastecidas pela geração solar fotovoltaica em área equivalente, aquela ocupada pelo veículo estacionado conforme a figura nº 17. Assim, um VE pode estar conectado a um gerador solar fotovoltaico carregando sua bateria quando estiver estacionado no local de trabalho, ou na residência do proprietário ou até mesmo no estacionamento do shopping.

Figura nº 17: Cobertura de estacionamento com placas fotovoltaicas
Fonte: Portal Solar

Envolvido neste contexto, ao fim de sua jornada de trabalho o proprietário do VE pode retornar a sua residência com o veículo, o qual a bateria ainda dispõe de uma quantidade considerável de carga. O restante dessa carga poderá ser utilizado na sua residência durante horário de pico no setor elétrico, a partir do momento em que o consumidor conectar seu VE a uma tomada elétrica inteligente da sua residência (Drude et al., 2014).

Este conceito está ilustrado na figura nº 18. Tal conceito é conhecido internacionalmente, e em breve fará parte da realidade brasileira. Trata-se do V2G (do inglês *vehicle to grid*), quando o fluxo da energia se dá no sentido da bateria do VE para a rede elétrica. Após o horário de pico, e com o VE conectado na mesma tomada, a rede inteligente da residência comanda o fluxo de energia reverso G2V (*grid to vehicle*), recarregando completamente a bateria do VE ao longo das horas da madrugada. Quando o sistema elétrico nacional estiver ocioso, neste caso o proprietário do VE ainda vai se beneficiar de uma tarifa mais baixa.

Ao longo do dia, geradores solares fotovoltaicos, dispostos em telhados, coberturas e fachadas dos prédios urbanos, geram eletricidade indispensável para atender as novas demandas de energia elétrica concebida pela nova frota de VEs. As redes inteligentes possibilitam que todos esses conceitos sejam utilizados simultaneamente, e poderão potencializar de forma clara a geração solar fotovoltaica

distribuída (GD), integrada em edificações urbanas de todos os tipos (Atlas Brasileiro de Energia Solar – 2º Edição).

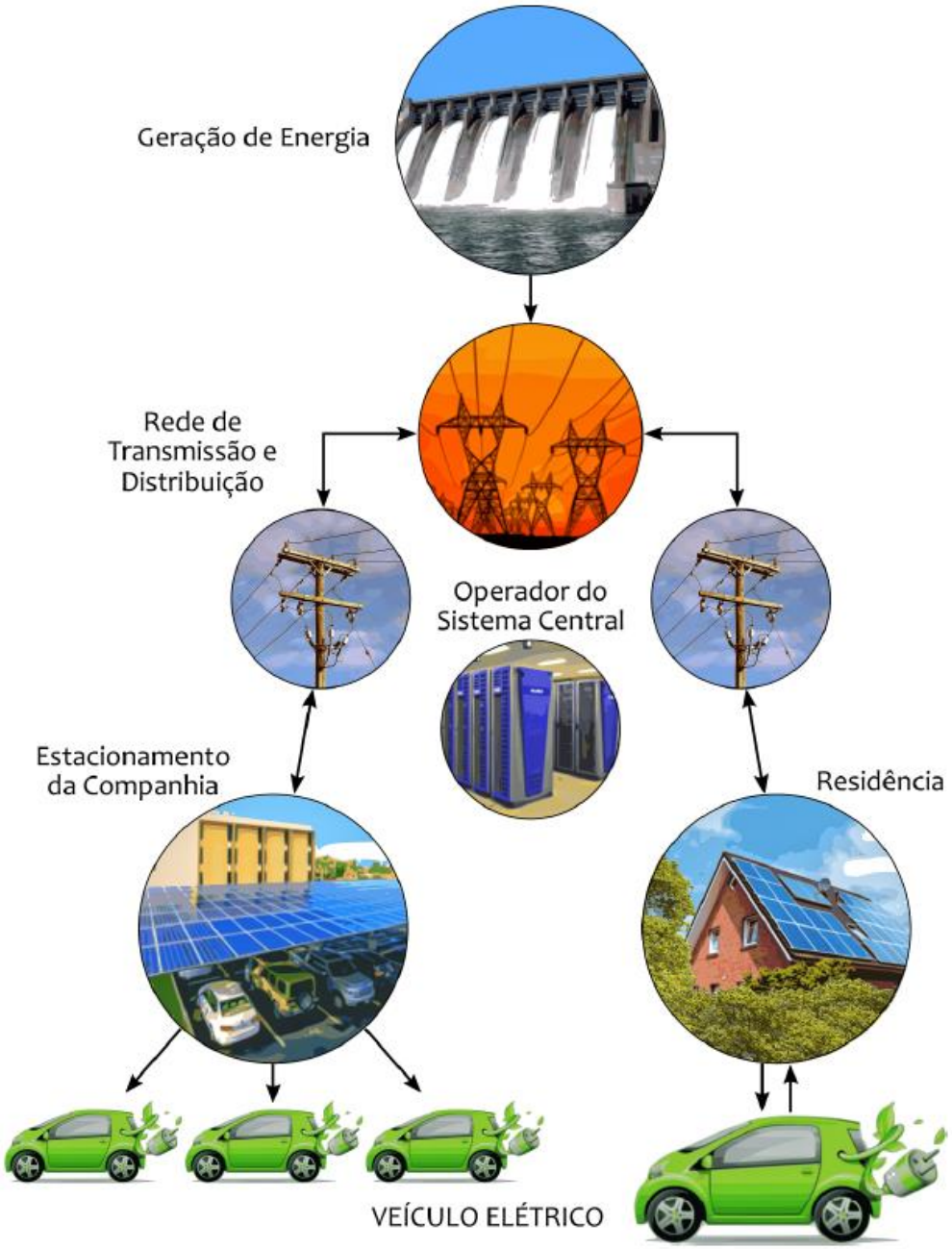

Figura nº 18: Diagrama da utilização da geração solar fotovoltaica integrada a telhados urbanos e de veículos elétricos atuando tanto como cargas quanto como fontes de energia em um ambiente de rede inteligente.
Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar – 2º Edição

No objetivo de evidenciar como os VEs, operando em conjunto com as redes inteligentes, podem agir na otimização do sistema elétrico, a figura nº 19 ilustra a curva de carga típica de um alimentador do sistema de distribuição urbano de eletricidade,

de uma região metropolitana brasileira (Rüther el al., 2011 apud Atlas Brasileiro Energia Solar). No exemplo, este mesmo autor mostra o quanto a distribuidora de energia precisa prover, através de uma infraestrutura suplementar cara e complexa, a fim de atender um período curto de cinco horas entre as 17:30 e as 22:30 horas. Deve ficar evidente que essa capacidade adicional permanece inativa durante maior parte do dia, representando custos adicionais que são repassados aos consumidores como uma componente da tarifa de energia.

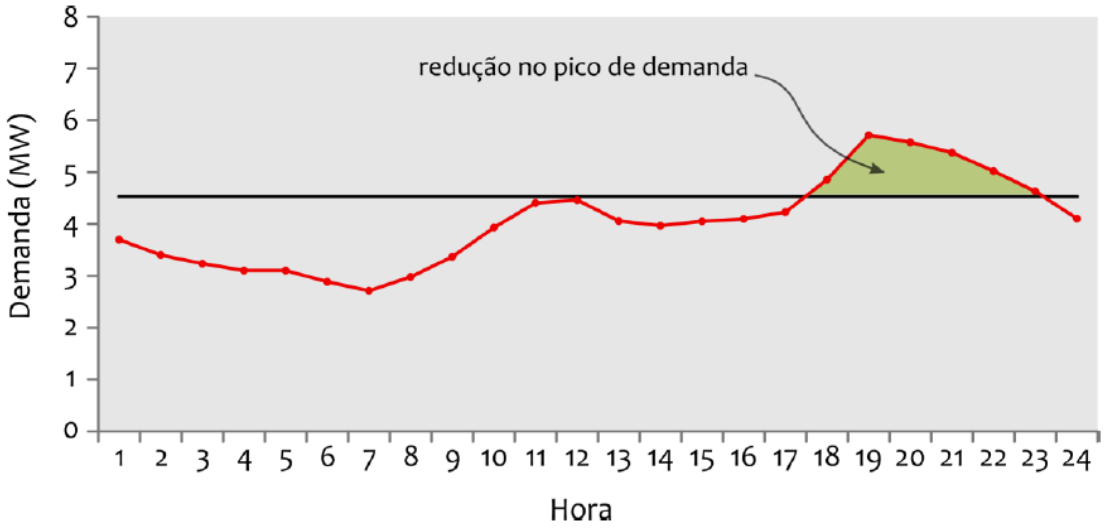

Figura nº 19: Curva de carga típica de alimentador urbano. Em um contexto de redes inteligentes, uma frota de VEs poderia oferecer suporte à rede reduzindo o pico de demanda (área verde), enquanto a geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas poderia fornecer a eletricidade adicional necessária para recarga das baterias da frota de VEs.
Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar – 2º Edição

Conforme o INEE (Instituto Nacional de Eficiência Energética), um VE estacionado pode perfeitamente ser interligado ao sistema elétrico, visto que funcionaria como um sofisticado gerador. Como veículos particulares permanecem estacionados em média 90% do tempo, eles podem funcionar como contingentes capazes de atender as necessidades da edificação onde estão plugados como “no break”.

Portanto, as baterias dos veículos elétricos podem acumular energia solar fotovoltaica durante o dia quando estão estacionados, para assim atender a dois propósitos que são o meio de transporte, como também suprir parte da demanda do horário de pico do sistema elétrico nacional. A rede inteligente se torna essencial para

administrar os fluxos de energia, carga e descarga de baterias ao longo do dia. Assim, podemos dizer que as redes inteligentes de energia potencializam e otimizam a utilização da geração solar fotovoltaica.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os objetivos propostos pelo trabalho, e com base no referencial apresentado, fica evidente que existe uma tendência mundial de substituição da tradicional infraestrutura do sistema de energia elétrica por uma configuração associada às recentes tecnologias de informação e comunicação. Essa alteração será responsável por importantes mudanças na forma do relacionamento entre regulador e as concessionárias de energia, assim como estas e seus consumidores.

Partindo deste princípio, consideramos que a sociedade está passando por um processo evolutivo, demonstrando uma maior preocupação com o meio ambiente em que vive. As questões climáticas em relação ao futuro do planeta se tornaram uma vertente a ser pesquisada e respeitada. O Homem Moderno está começando a entender que o crescimento econômico deve estar associado ao nível ótimo de utilização das riquezas naturais.

O rápido avanço das tecnologias de aproveitamentos de recursos de energia solar gerou inquietações para discussão neste trabalho. Sendo assim, as vantagens atribuídas a GD são nesse estudo contempladas pela temática da política, da economia, da sociedade e do meio ambiente. Nesse sentido, as considerações finais são apresentadas a seguir.

5.1. QUESTÕES POLÍTICAS

A energia elétrica é distribuída ainda hoje de forma arcaica, a maioria dos consumidores ainda é dependente de um sistema baseado em grandes centrais hidrelétricas, responsáveis pela geração de energia e uma extensa rede de linhas de transmissão, sujeitas a interrupções de fornecimento constantes devido a sua enorme extensão. Essa fonte geradora, que produz e distribui energia de forma centralizada, é capaz de tornar os consumidores totalmente dependentes de um sistema de

abastecimento, que mostra sinais claros de incapacidade para continuar o suprimento de um mercado crescente e cada vez mais exigente.

Além disso, a dinâmica utilizada por centrais hidrelétricas enfrenta sérios riscos de desabastecimento causado por problemas climáticos, que reduzem os níveis dos reservatórios, provocando risco de racionamento. Intencionando lidar com esse tipo de problema, a matriz energética brasileira necessita de outras fontes complementares com capacidade para suplementar a demanda crescente de energia. A geração distribuída pode oferecer inúmeras vantagens ao setor elétrico, entre elas podemos citar:

- Contribuição para abertura do mercado energético, com a instituição de regulamentação jurídica, podendo representar uma grande oportunidade comercial, favorecendo o mercado varejista e a microgeração;
- Aumento da estabilidade do sistema elétrico, através da existência de reservas de geração distribuída. Além de reduzir as perdas na transmissão e dos respectivos custos. (INEE 2011);
- Descentralização e desconcentração da capacidade de geração de energia, subtraindo poder do Estado, em detrimento do poder dos consumidores e pequenos geradores de energia.

5.2. QUESTÕES ECONÔMICAS

É fato que a atualização da RN 482, transformou o mercado de geração de distribuída, o crescimento exponencial demonstrado através das figuras apresentadas neste trabalho comprova que uma grande parte dos consumidores está disposta a investir nessa fonte renovável de energia, alguns aspiram a economia na conta de luz, devido aos preços inflacionados, outros querem garantir a continuidade no abastecimento de suas unidades consumidoras. Porém muitos estão preocupados com o futuro do planeta e querem consumir uma energia gerada através de uma fonte limpa e renovável que garanta um futuro para as próximas gerações.

Além disso podemos destacar as seguintes vantagens:

- Auto recuperação do sistema: capacidade de automaticamente detectar, analisar e responder a falhas na rede. Podendo restaurar o sistema, sem a necessidade do envio de uma equipe especializada a determinado ponto. Economia de tempo, mão-de-obra, desviando esses funcionários para outro setor, onde possam ser mais produtivos;
- Qualidade de Energia: prover energia com a qualidade exigida pela sociedade digital;
- Diversificação da Matriz Energética;
- A geração distribuída é economicamente viável, pois com ela é possível reduzir custos, adiar investimentos em subestações de transformação e em capacidade adicional para transmissão, além de reduzir as perdas que geram custos;

5.3. QUESTÕES SOCIAIS

A geração distribuída poderá trazer muitas vantagens para os consumidores e para o setor elétrico: está no centro de consumo tornando desnecessário altos investimentos em estruturas de transmissão. Conforme o MME até 2030 2,7 milhões de unidade consumidoras poderão ter energia gerada por elas mesmas, o que pode resultar em 23.500 MW de energia limpa e renovável, o equivalente à metade da geração da Usina Hidrelétrica de Itaipu. Com isso estaríamos deixando de emitir aproximadamente 29 milhões de toneladas de CO_2 na atmosfera. Alguns outros pontos relevantes sobre a ótica dos consumidores:

- Empoderamento dos Consumidores: promover a leitura do comportamento das unidades consumidoras, possibilitando um melhor planejamento e estruturação da rede. Além de promover respostas mais rápidas em relação a demanda, através de atuação remota;
- Fomentar empregos: a capacitação e formação de recursos humanos para atuar na área de Geração Distribuída (estima-se a criação de até 30 postos de trabalho a cada 1 MW instalado).
- A melhoria do nível de tensão da rede no período de carga pesada;
- O menor tempo de implantação;

5.4. QUESTÕES AMBIENTAIS

Em relação as questões ambientais, na utilização da GD os recursos energéticos distribuídos tanto podem como devem colaborar para reduzir as emissões de gases de efeito estufa contribuindo para reduzir o aquecimento global reduzindo os efeitos das mudanças climáticas. Além disso a GD poderá contribuir para:

- Contribuir para as metas de energia renovável assumidas com a ONU. Fundamentadas no Acordo de Paris sobre o clima, onde o Brasil estabeleceu as seguintes metas: reduzir as emissões de gases do efeito estufa em relação aos níveis de 2005, em 37% até 2025, e em 43% até 2030.
- Aproveitamento do potencial solar do Brasil;
- Reduzir o impacto ambiental do sistema produtor de eletricidade, minimizando as perdas causadas por um Sistema de Distribuição extenso, propício a perdas, ora causadas por furto, ora por oscilações do próprio sistema;
- Potencial redução das termoelétricas e hidrelétricas que constituem fontes centralizadas com altos custos de instalação e operação.

A expansão da geração distribuída poderá contribuir para dinamizar e acender as economias das famílias dos municípios, Estados e União. Portanto, fica evidente a necessidade de compor um ambiente regulatório, fomentar a indústria nacional a gerar novas tecnologias que favoreçam a expansão da microgeração fotovoltaica em residências. Para instituições comerciais, esse comprometimento com um crescimento sustentável poderá fazer a diferença para alcançarmos um planeta mais saudável em um futuro próximo. Devemos pensar que a descarbonização da economia será um processo difuso e árduo, contudo irreversível ao longo prazo.

Buscando aprimorar as redes elétricas, devemos nos preocupar principalmente com a adoção e integração de diferentes tecnologias, muitos aspectos que exigirão esforços concentrados de vários setores, principalmente o regulador. Dada a complexidade do assunto, esse trabalho procurou mostrar o estado da arte da Geração Distribuída no Brasil e no mundo. A questão energética será sempre um grande desafio para nossa economia, para fazer frente a todas essas mudanças será necessária a alocação de recursos. Fontes de financiamento deverão ser analisadas, isenção de imposto, acordos internacionais, entre outros.

Ressalta-se ainda, benefícios intangíveis, tais como a satisfação de poder gerar sua própria energia em casa, de forma sustentável, colaborando para reduzir o aquecimento global e contribuindo para uma maior consciência social.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGGENS, Janaina Beatriz, Gelain, Anna Julia Lorenzzon, Bisogno, Fabio Ecke. **Geração Distribuída: Um Estudo Político, Legal e Econômico**. XXXII Encontro Nacional de Energia de Produção, Bento Gonçalves, RS, 2012.

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Perguntas e Respostas sobre a aplicação da Resolução Normativa nº 482/2012**. Disponível em: < www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/FAQ_482_18-12-2012.pdf. > Acesso em: nov. 2017.

Tenfen, D., Lemos, F. A. B., Member IEEE, Fernandes, R. C., Decker, I. C. Member IEEE. Artigo, **Microgrids and Microgeneration in Brazilian Energy Market: a Discussion of Regulatory and Commercial Aspects**.

DOS REIS, Lineu Belico. **Geração de Energia Elétrica**, 2015. ISBN 978-85-204-4561-7.

DRUDE, L., PEREIRA JR., L. C., RÜTHER, R. **Photovoltaics (PV) and electric vehicle-to-grid (V2G) strategies for peak demand reduction in urban areas in Brazil in a smart grid environment**. Renewable Energy, v. 68, p.443-451, 2014.

Portal Eurostat Statistics Explained. Disponível em: < http://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php/Energy_production_and_imports/pt >. Acesso em: set. 2017.

Goldemberg, José. **Energia no Brasil e no Mundo, 2013**. Disponível em: < http://opiniao.estadao.com.br/noticias/geral,energia-no-brasil-e-no-mundo-imp-,1075220 >. Acesso em: set. 2017.

INEE. INSTITUTO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. **Notas sobre geração Distribuída.** Disponível em: < http://www.inee.org.br/down_loads/forum/Notas%20sobre%20GD.pdf >. Acesso em: out. 2013.

MME. ***Portaria nº 211, de 28 de maio de 2009.*** **Aprova as diretrizes para o Leilão para Contratação de Energia de Reserva de que trata a Portaria MME nº 147, de 30 de março de 2009, a ser promovido, direta ou indiretamente, pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL**. Disponível em: < www.aneel.gov.br/cedoc/prt2007045mme.pdf >. Acesso em: set. 2017.

Alvorada da Energia Solar. Disponível em: < http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Noticias/A-alvorada-da-energia-solar/ >. Acesso em: out. 2017.

Sucesso nascido da crise: A Califórnia e a energia renovável. Disponível em: < http://br.usembassy.gov/pt/sucesso-nascido-da-crise-california-e-energia-renovavel/ > Acesso em: nov. 2017.

PROINFA. Disponível em: < http://www.mme.gov.br/programas/proinfa/menu/programa/Energias_Renovaveis.html > Acesso em: nov. 2017.

ProGD. Disponível em: < http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticas/-/asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/programa-de-geracao-distribuida-preve-movimentar-r-100-bi-em-investimentos-ate-2030 > Acesso em: nov 2017.

VE e a Geração Distribuida. Disponivel em: < http://www.inee.org.br/veh_gd.asp?Cat=veh > Acesso em: nov. 2017.

Laste, L. Jean Marcos; Sakaguti, Eduardo Marcelo; Romani Mauricio. **Análise de Faturamento de Energia Elétrica de uma Instalação de Armazenagem de Grãos com Net Metering via Geração Fotovoltaica.** 10º Congresso sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural. São Paulo, SP. 2015.

Martins, A. Vanderlei. **Análise do Potencial de Políticas Públicas na Viabilidade de Geração Distribuída no Brasil.** Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento Energético, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2015.

EPE, ***Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2016 ano base 2015***. Disponível em: < http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202016.pdf > Acesso set. 2017.

INPE, ***Atlas Brasileiro de Energia Solar – 2º Edição***. Disponível em: < http://sonda.ccst.inpe.br/publicacoes/atlas_solar.html > Acesso nov. 2017.

ANEEL, **Nota Técnica nº 0056/2017 – SRD/ANEEL**. Disponível em: < http://www.aneel.gov.br/audiencias-publicas > Acesso nov. 2017.

Barbosa, Filho P. Wilson; Azevedo, S. de C. Abílio. **Geração Distribuída: Vantagens e Desvantagens**. II Simposio de Estudos e Pesquisass em Ciências Ambientais na Amazonia, 2013

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

Barbosa, M de Tiago, **Smart Grid: As redes Elétricas Inteligentes do Futuro**. Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade São Francisco, Itatiba, SP. 2010.