

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Maurício de Carvalho Santos

Rafael Policarpo Nunes

REDES INTELIGENTES DE ENERGIA

Taubaté - SP

2018

Maurício de Carvalho Santos

Rafael Policarpo Nunes

REDES INTELIGENTES DE ENERGIA

Trabalho de Graduação apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade de Taubaté, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Me. Seide da Cunha Filho

Taubaté - SP

2018

SIBi – Sistema Integrado de Bibliotecas / UNITAU

S237r Santos, Maurício de Carvalho
Redes inteligentes de energia / Maurício de Carvalho Santos; Rafael
Policarpo Nunes. -- 2018.
43 f. : il.

Monografia (graduação) – Universidade de Taubaté, Departamento de
Engenharia Mecânica e Elétrica, 2018.

Orientação: Prof. Me. Seide da Cunha Filho, Departamento de
Engenharia Elétrica.

1. Energia elétrica. 2. Redes inteligentes. 3. Smart Grid. I. Título.
II. Nunes, Rafael Policarpo. III. Graduação em Engenharia Elétrica e
Eletrônica.

CDD – 621.31

Ficha catalográfica elaborada por **Shirlei Righeti – CRB-8/6995**

Aos nossos pais, por todo apoio e incentivo aos estudos, por acreditarem na capacidade de conquistarmos nosso diploma, por nos mostrarem que na aquisição de conhecimento podemos melhorar nossa vida.

AGRADEDIMENTOS

Ao Prof. e Me. *Seide da Cunha Filho*, pela orientação do trabalho e atenção a nós prestada.

A todos os professores que fizeram parte do nosso crescimento educacional e profissional desde o princípio.

Aos professores que formam o corpo docente da Universidade de Taubaté.

A toda nossa família que é nosso alicerce e com quem podemos contar sempre.

Aos nossos amigos de faculdade pelos momentos que vivemos juntos, momentos de alegria e risos trocados e de ansiedade para saber a nota das provas.

A nossos avós, presentes nessa vida e aos que já se foram, porém permanecem na nossa memória, pelos conselhos e ensinamentos que nos transmitiram desde nossa infância.

A nossas namoradas pela paciência nos momentos que não podemos dar atenção por ter que dedicarmos aos estudos.

A Deus por ter proporcionado essa oportunidade na nossa vida, por ter nos dado força nos momentos de desistência do curso, pela saúde e proteção que sempre nos deu.

RESUMO

Esse estudo apresenta a importância da geração de energia elétrica na vida do ser humano desde os primórdios dos tempos oferecendo mais conforto no seu dia a dia. O percurso da geração de energia com a evolução do homem, com os avanços e inovações tecnológicas. Os danos ambientais causados por fontes de energia não renováveis. A inovação tecnológica com o uso dos sensores e medidores inteligentes. O desafio da implantação do *Smart Grid* como um sistema que vise melhorar a qualidade de energia, com maior eficiência energética, maior confiabilidade da rede e maior redução de custos. A finalidade do *Smart Grid* de auxiliar os consumidores no acompanhamento dos gastos de energia tornando-os informados sobre os custos reais do sistema. Vantagens e desvantagens do *Smart Grid*. O objetivo desse trabalho é levar informações sobre a evolução da geração de energia elétrica, apresentar a Geração de Energia Distribuída e a mais recente inovação tecnológica: o *Smart Grid*. A pesquisa realizou-se através de fundamentação teórica. A justificativa é oferecer subsídios para implementação de um processo interativo entre consumidores e concessionária com acompanhamento de informações sobre consumo, regulação mais efetiva de fraudes comerciais ou perdas operacionais de energia.

Palavras- chave: Energia Elétrica. Redes Inteligentes de Energia. *Smart Grid*.

ABSTRACT

This study presents the importance of the generation of electric energy in the life of the human being from the beginning of time offering more comfort in their daily life. The route of the generation of energy with the evolution of man, with advances and technological innovations. Environmental damage caused by non-renewable energy sources. Technological innovation with the use of smart sensors and meters. The challenge of deploying the Smart Grid as a system to improve power quality, increase energy efficiency, increase network reliability and reduce costs. The purpose of the Smart Grid is to assist consumers in tracking energy expenditures by informing them of the actual costs of the system. Advantages and disadvantages of Smart Grid. The objective of this work is to provide information about the evolution of electric power generation, to present the Distributed Energy Generation and the latest technological innovation: the Smart Grid. The research was carried out through theoretical foundation. The justification is to offer subsidies for the implementation of an interactive process between consumers and the concessionaire with monitoring of consumption information, more effective regulation of commercial fraud or operational losses of energy.

Keywords: Electricity. Intelligent Power Networks. Smart Grid.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sistema de distribuição de energia	12
Figura 2 – Energia Eólica	19
Figura 3 – Cogeração (esquema).....	20
Figura 4 – Microturbinas	20
Figura 5 – Gerador a Diesel	21
Figura 6 – Geração de energia fotovoltaica	22
Figura 7 – Painel fotovoltaico	22
Figura 8 – Modelo de medidor inteligente	28
Figura 9 – Interação entre as fontes de geração de energia e os consumidores	32
Figura 10 – Diagrama do <i>Smart Grid</i>	34
Figura 11 – Novo Modelo – <i>Smart Grid</i>	35
Figura 12 – Como funciona o <i>Smart Grid</i>	36
Figura 13 – A Casa Inteligente	38

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	9
1 REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA	11
1.1 BREVE HISTÓRICO DA DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	13
1.2 GERAÇÃO DE ENERGIA DISTRIBUÍDA	16
1.3 GERAÇÃO DE ENERGIA DISTRIBUÍDA A PARTIR DE OUTRAS TECNOLOGIAS	23
2 INOVAÇÃO TECNOLÓGICA	26
2.1 AUTOMAÇÃO: SENSORES	27
2.2 SENSORES MEDIDORES DE ENERGIA – COMPONENTES DA REDE	28
3 REDES INTELIGENTES DE ENERGIA OU <i>SMART GRID</i>	30
3.1 O QUE É <i>SMART GRID</i>	31
3.2 COMO FUNCIONAM AS REDES INTELIGENTES DE ENERGIA – <i>SMART GRID</i>	33
3.3 BENEFÍCIOS DO <i>SMART GRID</i>	37
CONCLUSÃO	39
REFERÊNCIAS	40

INTRODUÇÃO

O cenário atual em relação ao consumo de energia elétrica tem ganhado discussões em torno da questão ambiental. Mudanças comportamentais fazem-se necessárias a fim da preservação das condições de vida no planeta.

A distribuição de energia elétrica surgiu com intuito de aumentar o conforto das pessoas no dia a dia. Com a evolução humana houve o aprimoramento de novos modelos energéticos que iniciou com a utilização de vegetal resinoso, vapor e combustíveis fósseis como o carvão mineral, petróleo e gás natural. Outras formas de energia transformaram-se em energia elétrica eficiente: o calor, a iluminação e a energia mecânica.

No Brasil, as redes de distribuição de energia têm um sistema complexo que integra geradores, linhas transmissoras, canais de distribuição e consumidores. Empresas são responsáveis pela conexão, pelo atendimento e entrega de energia elétrica aos consumidores. O setor de distribuição elétrico é regulado e fiscalizado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Com a evolução do ser humano, novos modelos energéticos foram implementados. Novos projetos de equipamentos de potência foram surgindo com o avanço tecnológico a fim de evitar danos ambientais.

Além disso, a ideia de produção de energia elétrica em pequena escala, nas residências e indústrias tem surgido com muita força nos últimos anos. A Geração de energia elétrica de forma distribuída ou geração distribuída são expressões usadas que descrevem a geração elétrica realizada junta ou próxima aos consumidores.

Atualmente, no Brasil, um dos maiores modelos energéticos é na geração de energia hidrelétrica. No entanto, causadora de grande impacto ambiental, faz-se necessária a adoção de energia que gere menos custo ao meio ambiente. Dessa forma, o que se pretende é propiciar o crescimento de oferta de energia elétrica ao consumidor, a produção da sua própria energia através de fontes renováveis.

Autores como Pérez (2010), Barbieri (2007) afirmam ser essencial o desenvolvimento tecnológico e inovações no setor de energia considerando a diminuição de impacto ambiental, sustentabilidade do planeta, maior alcance social e principalmente a eficiência energética.

São os avanços e inovações tecnológicos que têm propiciado mudanças e sofisticação na geração de energia considerando premissas básicas de diminuição do impacto ambiental, maior alcance social e eficiência energética.

É nesse cenário que o *Smart Grid* começa a ser introduzido. Surge com um novo paradigma. Um conceito amplo que envolve tecnologias de controle, de armazenamento e de comunicação. Tem finalidade de auxiliar os consumidores no acompanhamento dos gastos de energia tornando-os informados sobre os custos reais do sistema bem como o controle de ocorrências de falhas pelas concessionárias.

O objetivo desse trabalho é levar informações sobre a evolução da distribuição de energia elétrica desde os primórdios até os dias atuais e apresentar a mais recente inovação tecnológica: o *Smart Grid*, o que é, como funciona e vantagens. O estudo será desenvolvido através de fundamentação teórica. A justificativa para a pesquisa é oferecer subsídios para implementação de um processo interativo entre consumidores e concessionária com acompanhamento de informações sobre consumo, regulação mais efetiva de fraudes comerciais ou perdas operacionais de energia.

1 REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA

O sistema de distribuição de energia no Brasil é constituído por redes complexas de elementos que visam a levar energia do local onde foi gerado até onde será consumido. Esse sistema complexo integra unidades geradoras, linhas de transmissão, canais de distribuição e consumidores finais de energia elétrica. De forma ramificada, pelas ruas e avenidas, as redes distribuidoras de energia conectam-se fisicamente ao sistema de transmissão.

As distribuidoras de energia conectam, atendem e entregam efetivamente a energia elétrica ao consumidor por meio de determinada empresa. Os maiores consumidores brasileiros de energia elétrica são os grandes centros urbanos e as regiões industriais.

Inicialmente, geradores produzem energia, em seguida é transportada por meio de cabos aéreos fixados em grandes torres de metal, as redes de transmissão, até chegar ao destino final passando por várias subestações, lugar em que os transformadores regulam a tensão elétrica de acordo com a necessidade.

A rede de distribuição de energia pode ser aérea, suportada por poste, ou do tipo subterrânea (com cabos ou fios localizados sob o solo, dentro de dutos subterrâneos).

O setor privado é responsável pela distribuição de, aproximadamente, 60% da energia, enquanto as empresas públicas se responsabilizam pelos 40% (ABRADEE).

A distribuição, assim como o sistema de transmissão, é composta por fios condutores, transformadores e equipamentos diversos de medição, controle e proteção das redes elétricas. No entanto, a diferença entre o sistema de distribuição e transmissão é que o primeiro apresenta-se de forma extensa e ramificada chegando aos domicílios e endereços de todos os seus consumidores. Além disso, as redes de distribuição compõem-se por linhas de alta, média e baixa tensão.

Algumas transmissoras possuem linhas com tensão abaixo de 230kV, as chamadas Demais Instalações da Transmissão (DIT), ou seja, instalações não classificadas como Rede Básica integrantes de outorgas de geração e/ou concessões de transmissão. No entanto, grande parte das linhas de transmissão com tensão entre 69kV e 138 kV tem como responsáveis as empresas distribuidoras. Essas linhas são definidas como linhas de subtransmissão.

Além das redes de subtransmissão, as distribuidoras operam com linhas de média e baixa tensão, são elas: redes primárias e secundárias. As redes elétricas primárias são aquelas de distribuição de média tensão, abrangem empresas e indústrias de médio e grande porte. As redes secundárias são de distribuição de baixa tensão, abrangem os consumidores residenciais, pequenos estabelecimentos comerciais e iluminação pública. Variam entre 110 e 440 V.

Também ficam afixadas nos postes de concreto que sustentam as de média tensão, localizando-se a uma altura inferior no mesmo poste e levam para os consumidores a energia através dos ramais de ligação.

O Sistema Interligado Nacional (SIN) é composto por empresas de geração, transmissão e distribuição de energia que atuam no país. Responsável por integrar as diferentes regiões produtoras e consumidoras de energia, essa integração ocorreu de forma processual. A evolução da industrialização e urbanização no país, especialmente nas regiões Sudeste e Sul impulsionaram essa integração. O SIN é considerado o maior sistema de transmissão do mundo sendo controlado por instituições estatais.

O setor de distribuição elétrico é um dos mais regulados e fiscalizados. A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) – prestadora de serviço público sob contrato com o órgão regulador do setor – edita Resoluções, Portarias, outras normas para o funcionamento adequado do setor de Distribuição, fiscalizando com muito rigor.

As distribuidoras de energia e as transmissoras não estabelecem seus próprios preços pelo fato de serem concessionárias do serviço público e signatárias de contratos de concessão que prevêm métodos regulatórios para o estabelecimento de preços aos consumidores. Dessa forma, o órgão regulador estabelece os preços máximos que podem ser aplicados pelas concessionárias.



Figura 1: Sistema de distribuição de energia elétrica

Fonte: <http://www.abradee.com.br/setor-de-distribuicao/a-distribuicao-de-energia>

1.1 BREVE HISTÓRICO DA DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Desde muito tempo, a utilização de mecanismos que reduzam o esforço e aumentem o conforto das pessoas, no dia a dia, tem sido criada com inteligência pelo homem. A descoberta da força das águas, dos ventos e seu poder na geração de energia contribuíram para a transformação e desenvolvimento da produção de eletricidade.

A história mostra-nos que com a evolução do ser humano, novos modelos energéticos têm sido implementados. Conforme Farias e Sellito (2011) há um aprimoramento da utilização de diversas fontes de energia, desde o gênesis da humanidade. No período paleolítico, o homem utilizou de um vegetal resinoso para o domínio da produção do fogo, na Idade Média – o vapor, já na modernidade passou a utilizar combustíveis fósseis como o carvão e o petróleo.

Para Moraes (2013), a escolha humana em utilizar combustíveis não renováveis mostra-se equivocada, pois esses recursos além de serem finitos, causam males ao meio ambiente devido aos resíduos resultantes da sua queima. Isso evidencia grande preocupação cada vez maior com a escassez dos combustíveis fósseis.

Um grande marco da história da energia foi a invenção da máquina a vapor, símbolo energético da Revolução Industrial. Através da transformação do fogo em movimento permitiu-se a construção de grandes fábricas e sua aplicação nos transportes. Combustíveis fósseis como carvão mineral, petróleo e gás natural também evoluíram bastante. Até hoje representam fonte de energia importante geradora de tecnologias mais avançadas.

Há pouco mais de 200 anos surgiu energia elétrica, símbolo da Era da Informação. Outras formas de energia puderam se transformar em da energia elétrica com eficiência. São elas: o calor, a iluminação e a energia mecânica.

Poucos foram os cientistas que se interessavam pelos estudos relativos aos fenômenos elétricos e magnéticos até o final do século XIX. Também poucos fizeram significativas contribuições para a área da eletricidade. Naquele tempo, pouco se sabia sobre aplicações práticas para tais conhecimentos, o que motivavam os estudos era a curiosidade intelectual.

Trabalhos realizados de 1821 a 1831 por Faraday obtiveram sucesso na formulação da importantíssima lei que ostenta seu nome. Em seguida, Faraday construiu uma máquina que gerava tensão elétrica com base em princípios de indução magnética. No período compreendido entre 1840 e 1880, diversos profissionais, incluindo Charles Wheatstone (1802 – 1875), Samuel Alfred Varley (1832 – 1921), Ernst Werner von Siemens (1816 – 1892), Carl

Heinrich von Siemens (1829 – 1906) e Zénobe-Théophile Gramme (1826 – 1901), aplicaram o princípio da indução eletromagnética à construção de geradores elétricos primitivos, segundo Abreu (2010).

Nos anos 70 do século XIX, deu-se a comercialização da iluminação a arco voltaico, ou seja, formava-se um arco elétrico de brilho intenso quando dois eletrodos de carbono conduzindo corrente elétrica eram afastados. Essa comercialização da iluminação inicialmente foi residencial e posteriormente, pública e em outras instalações externas. Produziu estímulo necessário ao desenvolvimento de melhores e eficientes geradores elétricos. No entanto, a principal objeção à iluminação a arco voltaico era sua alta intensidade que tornava inadequada para maioria das aplicações internas. A iluminação a gás ainda era a melhor opção para esses usos.

Para Abreu (2010),

Já no ano de 1809, era conhecido o fato de que certos materiais, ao conduzirem corrente elétrica, poderiam aquecer-se até o ponto de incandescência. A ideia de se utilizarem tais materiais como fonte de luz estimulou muitos profissionais a tentarem produzir tal dispositivo. A principal dificuldade a ser superada era que o material incandescente consumia-se rapidamente. Para retardar ou prevenir essa destruição, o material foi encapsulado em um recipiente preenchido com gás inerte ou a vácuo. O desafio de se colocar um material com alto ponto de fusão, condutância elétrica apropriada e boas propriedades de iluminação em um invólucro com atmosfera adequada provou-se insuperável para a tecnologia da época: até os anos 70 do século XIX, a lâmpada elétrica estava muito distante de ser uma realidade. Apesar disso, ocorreram contínuos melhoramentos nos geradores elétricos. Tornou-se claro que, se e quando uma lâmpada elétrica incandescente fosse desenvolvida, uma fonte de energia elétrica estaria disponível (ABREU, 2010).

Thomas Alva Edison (1847 – 1931) construiu, em 1875, um laboratório a fim de trabalhar em vários projetos na área da eletricidade, incluindo o desenvolvimento de uma lâmpada elétrica incandescente. Foi em 1879, depois de muitas tentativas e experiências malsucedidas, um bulbo com vácuo contendo um filamento de fio de algodão carbonizado foi energizado. Não havia mais dúvidas de que uma lâmpada incandescente viável poderia ser desenvolvida.

Naquela época as companhias de energia elétrica autodenominavam-se companhias de iluminação porque esse era o único serviço que forneciam força e luz. No entanto, foi encontrado um problema técnico que até hoje persiste. Conforme Abreu (2010)

“a carga elétrica de uma companhia pode aumentar ao final da tarde, manter-se aproximadamente constante durante todo o início da noite e, então, cair subitamente, por volta das 23h, para a metade do valor máximo ou menos. Isso significava que se tinha um sistema elaborado que era subutilizado na maior parte do tempo” (ABREU, 2010).

Outro problema técnico envolvia o aumento de correntes a ele associado causando quedas de tensão inaceitáveis se os geradores estivessem localizados a uma distância considerável de cargas. O que seriam necessárias menores correntes para maiores tensões. A solução era transmitir potência a alta tensão por longas distâncias e, então abaixar o valor da tensão no ponto de consumo. O equipamento desenvolvido deveria ser capaz de transformar os níveis de tensão e de corrente com eficiência e confiabilidade, segundo Abreu (2010).

Em 1890, a recém-criada *Westinghouse Company* havia experimentado uma nova forma de eletricidade, denominada corrente alternada (CA), inspirada no fato de que a corrente elétrica alternadamente revertia o sentido do seu fluxo em sincronismo com a rotação do gerador.

Nikola Tesla (1856 – 1943) não tinha apenas inventado o motor de indução CA polifásico, mas também concebido um sistema elétrico CA polifásico completo. Essa abordagem tinha muitas vantagens inerentes: por exemplo, os problemas de comutação associados aos geradores CC eram eliminados. Uma vigorosa controvérsia entre Edison, da jovem General Electric Company, e a Westinghouse Company desenvolveu-se para se decidir se a indústria deveria ser padronizada em CC ou em CA. A forma CA finalmente saiu-se vitoriosa pelos seguintes motivos: (a) o transformador CA possuía a tão necessária capacidade de converter facilmente níveis de tensão e de corrente com rendimento elevado; (b) os geradores CA eram inerentemente mais simples que os geradores CC; e (c) embora não tão versáteis naquela época, os motores CA eram mais simples e mais baratos que os motores CC. (ABREU, 2010).

Houve a padronização em CA, o conceito de geração central estabeleceu-se e as cargas remotas deixaram de ser problema (ABREU, 2010). As lâmpadas de brilho amarelado eram mais convenientes, tornando-se mais baratas que seu correspondente a gás. Assim aumentaram-se as listas de clientes consumidores das companhias de energia elétrica.

Para Abreu (2010) “Empresas de eletricidade expandiram-se pelos territórios até que começassem a compartilhar fronteiras. Já em 1920, cada centro de carga da Europa Ocidental possuía seu próprio sistema de potência”.

Novos projetos de equipamentos de potência foram surgindo com o avanço tecnológico. Empresas de eletricidade expandiam seus sistemas, novos geradores e transformadores adquiridos tinham maior capacidade e rendimento. Lâmpadas elétricas foram mais desenvolvidas dando mais luz e unidade de energia aos consumidores (ABREU, 2010).

O aumento da demanda por energia elétrica incentivou a transmissão em tensões progressivamente mais altas, que foram padronizadas em determinados níveis para evitar a proliferação de um número excessivamente grande de tensões de operação. É interessante notar que, apesar de toda essa evolução, a tensão inicial de Edison, 110 V, com sucessivas revisões para 115 V e 120 V, permaneceu como o padrão para o nível de serviço nos EUA (ABREU, 2010).

Dessa forma, criou-se o padrão de sistema elétrico de potência, definido por Gross (1986) como uma rede de componentes interconectados projetados para converter continuamente energia não-elétrica em energia elétrica transportada por distâncias potencialmente grandes e transformada em uma forma específica sujeita a estreitas tolerâncias. Conforme essa ideia, de forma organizacional, o sistema foi dividido em cinco subsistemas: geração, transmissão, subtransmissão, distribuição – primária e secundária – e consumo. Um sistema assim deve ser seguro, confiável, econômico, ambientalmente adequado e socialmente aceitável, segundo Gross (1986).

Para Abreu (2010), esse modo organizacional adotado para o sistema elétrico ao longo de quase toda a sua história — grandes centrais de geração e uma extensa rede de linhas de transmissão e de distribuição alimentando os diversos consumidores —, é o que se conhece por geração centralizada de energia elétrica.

1.2 GERAÇÃO DE ENERGIA DISTRIBUÍDA

Esse modo organizacional adotado para o sistema elétrico ao longo de quase toda a sua história, grandes centrais de geração e uma extensa rede de linhas de transmissão e de distribuição alimentando os diversos consumidores, é o que se conhece por geração centralizada de energia elétrica, ou simplesmente geração centralizada, geração central, geração convencional ou geração tradicional.

A geração de energia distribuída é considerada um sistema elétrico convencional, interligado, em que as linhas de transmissão interligam diversas usinas geradoras entre si e a muitos sistemas de distribuição, a expressão geração centralizada soa inadequada, pois há, de fato, geração de grande porte em diversos pontos do sistema interligado, mas não necessariamente no centro geográfico nem no centro de carga do sistema.

A ideia de produção de energia elétrica em pequena escala, nas residências e nas indústrias, tem surgido com muita força nos últimos anos. É a chamada produção de energia elétrica de forma distribuída que de forma desconcentrada recebeu regulação recente no Brasil.

Em abril de 2012, a ANEEL publicou a Resolução Normativa nº 482, estabelecendo as condições para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, trazendo a possibilidade de promover o crescimento da matriz energética do país, sem a degradação do meio ambiente (MORAES, 2013).

Geração de energia elétrica de forma distribuída ou geração distribuída são expressões usadas para descrever a geração elétrica realizada junta ou próxima aos consumidores, conforme afirmam Lezama e Feltrin (2008). Mas a geração distribuída não substitui completamente a geração central, ela se torna uma boa opção quando há dificuldade na transmissão do sistema e dificultam ou encarecem o fornecimento de energia.

Geração Distribuída (GD) é a geração de energia que se caracteriza por estar próxima do consumidor, conforme o Instituto Nacional de Eficiência Energética (2008). Portanto, ela economiza no sistema de transmissão e nas perdas do sistema em geral.

Conforme Moraes (2013) há um medidor eletrônico ou medidor inteligente, no sistema de geração distribuída que tem a capacidade para aplicações que vão além da medição de consumo de energia. Registrando dados em intervalos de tempo configuráveis, permite uma configuração bidirecional entre a concessionária e os consumidores. Através da comunicação bidirecional espera-se propiciar a leitura automática da demanda individual, automatizar a coleta de dados de faturamento, proporcionar a conexão e desconexão de consumidores, disponibilizando informações do preço da energia, detectando faltas e despachando equipes de manutenção de forma mais rápida e correta, detectando e impedindo o furto de energia.

De acordo com o Instituto Nacional de Eficiência Energética (INEE), essa geração distribuída independe de potência, tecnologia e fonte de energia. Como exemplo: os cogeneradores, painéis fotovoltaicos, geradores de emergência e pequenas centrais elétricas.

A maior parte da energia de uma fonte de GD destina-se a consumidores próximos. Por outro lado, consumidores mantêm-se ligados em paralelo com a rede, aumentando sua garantia de suprimento, mas alimenta-se, principalmente, da energia gerada localmente.

Em 2004, o Governo Federal dispôs sobre regulamentação da comercialização de energia elétrica, sobre o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, através do Decreto nº 5.163 de 30 de julho daquele ano. Em seu Art. 14 o Decreto definiu o que seria a geração de energia elétrica de forma distribuída:

Art. 14. Para os fins deste Decreto, considera-se geração distribuída produção de energia elétrica proveniente de empreendimentos de agentes concessionários, permissionários ou autorizados, incluindo aqueles tratados pelo art. 8º da Lei nº 9.074, de 1995, conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador, exceto aquela proveniente de empreendimento: I - hidrelétrico com capacidade instalada superior a 30 MW; e II - termelétrico, inclusive de cogeração, com eficiência energética inferior a setenta e cinco por cento, conforme regulação da ANEEL, a ser estabelecida até dezembro de 2004. Parágrafo único. Os empreendimentos termelétricos que utilizem biomassa ou resíduos de processo como combustível não estarão limitados ao percentual de eficiência energética prevista no inciso II do caput (BRASIL, 2004).

Martins, Assis e Taranto (2004) ressaltam que há vantagens da geração distribuída, são elas: redução dos custos, melhoria na confiabilidade, redução do impacto ambiental provocado pelas usinas de grande porte. Segundo Ribeiro e Ferreira e Medeiros (2005), a geração distribuída pode reduzir as perdas elétricas à medida que atende a carga localmente.

Para Lezama e Feltrin (2008), as principais vantagens da geração distribuída sobre a geração central são a economia em investimentos e os baixos impactos ambientais, a contribuição na redução das perdas elétricas pela geração distribuída. Além disso, alivia o congestionamento nas linhas de transmissão, melhorando o perfil de tensão e a estabilidade do sistema, reduzindo também os custos da eletricidade para o consumidor final.

De acordo com Moraes (2013), é relevante afirmar que a implementação da geração de energia elétrica de forma distribuída pode ser considerada versátil por ser empregada sem necessariamente estar ligada a uma rede principal. Em se tratando de um país como o Brasil com grande extensão territorial, regiões isoladas carentes de energia elétrica, com custos de instalação de linhas de transmissão elevados que impossibilita o fornecimento de energia elétrica, a geração de energia elétrica de forma distribuída é apresentada como forma de incentivo a inclusão social (MORAES, 2013).

Contudo, Pontes et al (2009) analisam que embora haja várias vantagens na utilização da geração distribuída, têm-se também algumas desvantagens, devido ao aumento do número de empresas e entidades envolvidas no sistema elétrico. Entre elas, destaca-se uma maior dificuldade na coordenação de atividades administrativas, comerciais, de manutenção e de segurança, além de uma maior complexidade no planejamento e operação do sistema elétrico. Porém são fatores de ordem exclusivamente técnica e administrativa, que através de estudos específicos aliados a prática devem ser superados pela ANEEL em conjunto com as concessionárias.

O modelo energético atual, no Brasil, é baseado principalmente na geração de energia hidrelétrica. Conforme Granza e Voltolini (2010), esse tipo de geração causa grande impacto ambiental, pois altera ecossistemas inteiros.

Em 2012, a produção de energia hidrelétrica correspondia a 70,3% do total produzido no Brasil, segundo dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Grandes hidrelétricas foram construídas com projetos que não consideraram que era necessário a retirada das matas antes do preenchimento das represas, fazendo com que as árvores que se decompõem embaixo da água libere gases de efeito estufa por décadas. Para Mota (2011), deve-se levar em consideração a adoção de energia que gerem menos custo ao meio ambiente na escolha do sistema.

Moraes (2013) afirma que o que se pretende com a geração de energia elétrica distribuída é propiciar o crescimento da oferta de energia elétrica ao consumidor que, produzindo sua própria energia através da utilização de painéis solares, turbinas eólicas ou outras fontes de energia renovável. Quando a geração for maior que o consumo, o excedente pode ser injetado na rede para a utilização de outros consumidores. “Esse mesmo consumidor permanece conectado na rede elétrica, para que quando sua geração não consiga suprir suas necessidades, o consumidor possa utilizar a energia proveniente da rede elétrica” (MORAES, 2013).

As principais tecnologias da Geração Distribuída:

- **Micro CH:** Micro-Centrals Hidrelétricas são microturbinas hidráulicas com potência de até 1.000 kW, movidas pela energia potencial da água que, acopladas a um alternador, geram energia elétrica para o abastecimento localizado.
- **Pequenas Eólicas:** São pequenas turbinas aerogeradoras com potência de até 100 kW, movidas à força do vento e instaladas em locais específicos de presença pontual de correntes de vento.



Figura 2: Energia eólica

Fonte: <https://www.todamateria.com.br/energia-eolica/>

- **Miniusina para Cogeração:** Equipamento de pequeno porte, acoplado a uma fonte primária de energia com potência de até 300 kW, no qual se gera simultaneamente Calor e Trabalho, sendo que este poderá ser aproveitado para geração de energia elétrica, enquanto o primeiro, através da recuperação do calor dos gases de escape, pode gerar, entre outros, água quente, vapor, calor de processo ou frio.

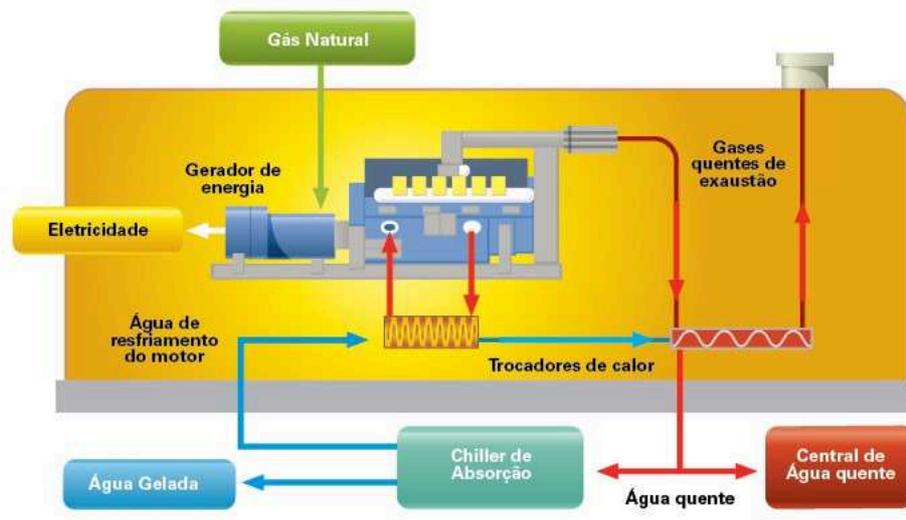


Figura 3: Cogeração (esquema)

Fonte:

https://www.google.com.br/search?q=cogera%C3%A7%C3%A3o+de+energia&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjs19TXn9zdAhUNPJAKHa70ARgQ_AUIDCgD&biw=1366&bih=582#imgrc=SKQY17bu5WwCsM:

- Microturbinas: São pequenas turbinas com potência de até 500 kW que visam à geração de energia elétrica ou podem operar em minissistemas de cogeração. Podem utilizar diferentes combustíveis, mas principalmente o gás natural ou gás proveniente de aterro sanitário (biogás).



Figura 4: Microturbinas

Fonte:

https://www.google.com.br/search?q=micro+turbinas+hidraulicas&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi-8t2XoNzdAhXHIJAKHWoJC-EQ_AUICygC&biw=1366&bih=582#imgrc=NZTGw--H3ebANM:

- Geradores Diesel: Conjunto de motor ciclo diesel acoplado a um alternador/gerador de energia elétrica. O gerador diesel é normalmente utilizado em

emergência, podendo também ser usado para suprimento total das cargas da unidade consumidora, para gestão de carga (*peak-shaving*) ou mesmo em sistemas de cogeração.



Figura 5: Gerador a diesel

Fonte: <https://fastseg.blogspot.com/2017/09/entenda-como-funciona-o-gerador-eletrico-a-diesel.html>

- Térmica/Solar: É o aquecimento da água (para uso residencial, comercial ou industrial) por meio da utilização de coletores solares, os quais funcionam de acordo com os princípios de transmissão de calor através dos materiais.
- Fotovoltaica/Solar: É a geração de energia elétrica através de painéis solares, formados por células solares. Células solares são dispositivos compostos de silício, que produzem uma corrente elétrica quando incididos pela luz solar.

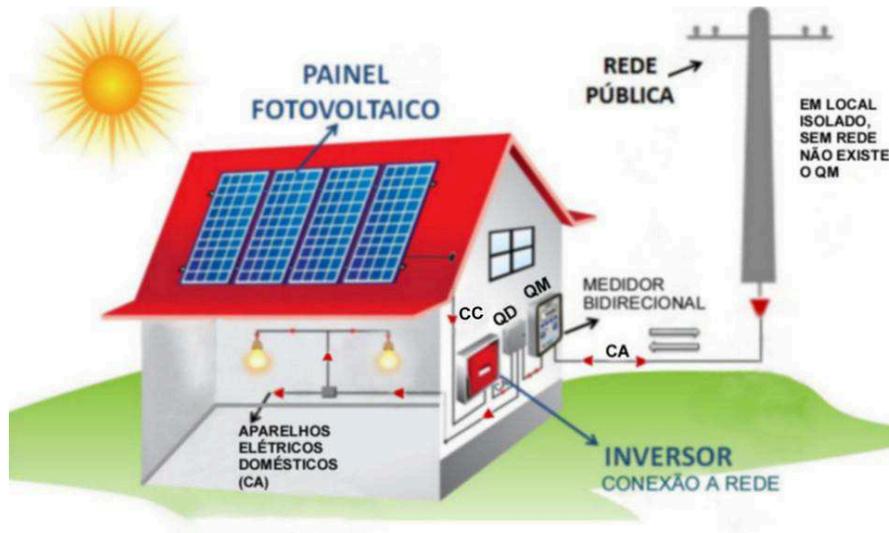


Figura 6: Geração de energia fotovoltaica

Fonte: <http://maisengenharia.altoqi.com.br/eletrico/energia-solar-fotovoltaica-e-geracao-de-eletricidade/>



Figura 7: Painel fotovoltaico

Fonte:

https://www.google.com.br/search?q=paineis+fotovoltaicos&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiyx-X-ndzdAhXB15AKHWMBBXIQ_AUICigB&biw=1366&bih=582#imgcr=QGJSMYTo_BXLrM:

- Célula Combustível: É uma tecnologia que utiliza o hidrogênio e o oxigênio para gerar eletricidade através de processos químicos. A célula combustível é, em geral, alimentada diretamente com hidrogênio, ou este é extraído de outros combustíveis fósseis (gás natural, gasolina ou álcool) (WRIGHT, 2009)

Segundo Leão (2009) “o sistema atual de energia elétrica é baseado em grandes usinas de geração que transmitem energia através de sistemas de transmissão de alta tensão, que é então distribuída para sistemas de distribuição de média e baixa tensão”. Geralmente, o fluxo de energia é unidirecional. A energia é despachada e controlada por centro(s) de despacho com base em requisitos pré-definidos. Normalmente os sistemas de distribuição são gerenciados por monopólios empresariais, enquanto o setor de geração e de transmissão apresenta certa competitividade em um sistema desverticalizado (LEÃO, 2009).

A produção de uma tensão alternada acontece na geração de energia elétrica, expressa por uma onda senoidal, com frequência fixa e amplitude que varia conforme a modalidade do atendimento em baixa, média ou alta tensão. Há uma propagação dessa onda senoidal pelo sistema elétrico que mantém a frequência constante, modificando a amplitude à medida que trafegue por transformadores. O sistema elétrico é conectado pelos consumidores que recebem o produto e o serviço de energia elétrica.

1.3 GERAÇÃO DE ENERGIA DISTRIBUÍDA A PARTIR DE OUTRAS TECNOLOGIAS

Conforme detalhado a seguir, identificamos algumas perspectivas para a geração de energia distribuída a partir das principais tecnologias:

- Gerador Diesel: sofrendo aperfeiçoamentos constantes, essa tecnologia opera em cogeração, usando gás natural, biodiesel e/ou gases pobres, como os do lixo.
- Tecnologia para a obtenção de Biodiesel: a tendência para adoção de transesterificação com metanol e etanol como processo principal para usar como mistura com diesel vem ocorrendo com a evolução tecnológica nos últimos anos. Isso se justifica pela possibilidade de utilização em veículos automotivos sem modificação dos motores.
- Geração Fotovoltaica: a utilização dessa tecnologia vem sendo usada em sistemas do tipo *off-grid* e com aplicações de *peak-shaving*. Sua participação como GD é muito expressiva em regiões de alta insolação. Seu uso exige a presença de um suporte, baterias, para que se mantenha oferta de energia em períodos de baixa ou nenhuma insolação.
- Cogeração: essa tecnologia compete vantagens com a geração central de gás natural com eficiência decorrentes da possibilidade de aproveitar de 80% a 90% do calor compulsoriamente presente em determinados processos industriais para a geração de eletricidade.

- Microturbinas: diversos fabricantes dominam essa tecnologia, são equipamentos com uma alta confiabilidade. Com preços variáveis pela competitividade, sua venda vem crescendo comedido e os custos de fabricação tendem a decrescer de efeitos de aprendizagem e economias de escala.
- Células Combustíveis: sua tecnologia está sendo comercializadas, no entanto tem custos elevados. Seus custos são decrescentes em decorrência de sua flexibilidade e dimensão. Unidades de pequeno porte vêm sendo entregues por fabricantes para utilização em residências e condomínios.
- Eólico: usinas eólicas podem desempenhar um papel de GD e garantem a continuidade de fornecimento integrada a outras soluções. Seu uso necessita de um suporte como grupos geradores mantendo a oferta de energia em períodos de menos ventos. O custo-benefício ainda atrapalha sua expansão. Pequenas turbinas de vento designadas para aplicações residenciais e rurais possuem uma participação inexpressiva no mercado.
- Tecnologia para Biomassa: essa tecnologia utiliza do aproveitamento do esgoto/lixo e resíduos agrícolas. A biomassa como combustível misturada a outros tipos de combustíveis fósseis é usada como geradores elétricos. A gaseificação da biomassa é outro tipo de aplicação. O produto é usado no lugar do gás natural. É no aquecimento de um boiler que acontece o uso mais comum da biomassa. Fatores logísticos e custo de obtenção de materiais orgânicos garantem atratividade financeira de biomassa. Além disso, benefícios ambientais podem ser gerados pela biomassa.

Como exemplo de usina geradora de energia elétrica, no Brasil, tem-se Itaipu, considerada a maior do país. A origem do nome “Itaipu” provavelmente vem da expressão inglesa *centralized generation*, referindo-se aos primeiros sistemas elétricos ainda não-interligados – usinas geradoras que alimentam sistemas de transmissão e de distribuição com configuração que aceita com facilidade a noção de central da usina geradora. Com a interligação dos diversos pequenos sistemas a noção de geração central ou centralizada deixou de ser pertinente. No entanto, a expressão geração centralizada continua válida, há sistemas interligados com a capacidade de geração não centralizada, pois a função é da localização das usinas geradoras, mas o despacho que define a geração é centralizado.

Com o aumento da demanda também aumentou a energia gerada excedendo a capacidade máxima do sistema levando à construção de novas usinas geradoras de energia,

geralmente de grande porte, com capacidade de transmissão e distribuição da maior quantidade de energia comercializada. Conforme Rodriguez (2002) e Rodrigues (2006) as justificativas desse modo de organização dos sistemas elétricos são:

(a) a contínua busca de economias de escala, com a conseqüente redução dos custos unitários de investimento e de produção, pois a rápida expansão dos sistemas elétricos reconfigurou o negócio da energia como um monopólio natural em larga escala; (b) a conveniente minimização dos impactos e dos riscos ambientais nos centros mais densamente povoados; (c) o poder que tinham os empreendedores de grandes obras, do setor público ou do setor privado, dando suporte às soluções então propostas; e (d) a alta confiabilidade dos sistemas de transmissão de energia elétrica em alta tensão (RODRIGUEZ, 2002 e RODRIGUES, 2006).

Dunn e Flavin (2000) afirmam que em 1970, a geração *in loco* das indústrias foram substituídas pela aquisição de energia elétrica de concessionárias que forneciam mais de 90% da eletricidade mundial. Segundo os autores “nessa mesma década, grande porte das usinas entrou em choque com preocupações ambientais, com crises energéticas e com vazamentos causadores de prejuízos bilionários em grandes usinas nucleares”. Na década de 80, houve uma reversão na tendência de crescimento das usinas geradoras pelo crescimento da produção em massa das turbinas a gás de menor porte que chegaram ao mercado.

Dessa forma, foram introduzidas novas tecnologias reduzindo progressiva e significativamente o custo da energia elétrica produzida. A utilização de unidades geradoras de menor porte, localizadas nas proximidades dos centros de carga deu-se desde então, valorizando a GD.

Para Abreu (2010) as contínuas inovações tecnológicas, no setor elétrico, associadas à regulamentação dos mercados, possibilitaram o surgimento de novos agentes, produtores independentes e os autoprodutores que vendendo ou não excedentes de energia elétrica para a rede constituem as principais forças que impulsionam a disseminação da GD. Isso dificultou a obtenção de financiamento para as grandes centrais de geração bem como os impactos ambientais decorrentes da implantação delas.

2 INOVAÇÃO TECNOLÓGICA

Os avanços tecnológicos contribuem para o desenvolvimento econômico de empresas e países. Dificilmente a civilização humana teria alcançado um grau de sofisticação sem esses avanços. A inovação e o desenvolvimento tecnológico tornam-se fatores diferenciais numa economia globalizada que tem empresas concorrendo com outras no que se refere aos padrões de qualidade de seus produtos e serviços.

As empresas do setor elétrico brasileiro, com recentes mudanças estruturais, experimentaram transformações na forma de lidar com o mercado de energia. Investiram em pesquisa científica e desenvolvimento tecnológico, agregando novos conhecimentos, aumentando a qualidade dos seus produtos/serviços a fim de ganhar vantagem competitiva.

Com a publicação da Lei 9.991, a partir de 2000, o investimento em pesquisa científica e desenvolvimento tecnológico (P&D) tornou-se obrigatório no setor elétrico. Dessa forma, as empresas do setor elétrico investiram parte das suas Receitas Operacionais Líquidas (ROL) em atividades desse tipo. Conforme ANEEL, houve um investimento até o ano de 2006, de mais de 900 milhões de reais, no setor elétrico brasileiro (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2007).

O Programa de P&D do setor elétrico brasileiro representa um esforço conjunto de empresas, governo e organizações de pesquisa em gerar conhecimento, inovar na aplicação dos conhecimentos já adquiridos e capacitar recursos humanos para fazer frente aos desafios tecnológicos e mercadológicos atuais e futuros do setor. O programa é regulamentado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), uma autarquia federal com a finalidade de regular e fiscalizar a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica no Brasil (ALMEIDA, 2008).

Para Pérez (2010) é essencial desenvolver tecnologias e inovações de impacto voltadas ao setor de energia considerando ainda as premissas básicas de diminuição de impacto ambiental, maior alcance social e eficiência energética. A energia é papel fundamental para o desenvolvimento e a inovação. No entanto, Barbieri (2007) afirma que quando essa energia é advinda de fontes não renováveis podem acarretar problemas ambientais e colocar em risco a sustentabilidade do planeta. A inovação energética, segundo Nakata e Viswanathan (2012) devem garantir recursos para gerações futuras estando pautada em fontes sustentáveis.

O Brasil apresenta uma realidade e cenários propícios para investimentos considerando que o setor de energia é uma prioridade estratégica, tem um marco regulatório para atender às necessidades econômicas e sociais do país, que estão em constante aprimoramento (SILVEIRA, 2016).

2.1 AUTOMAÇÃO: SENSORES

Os sensores são dispositivos que substituem as chaves de acionamento mecânico tornando a aplicação do sistema mais versátil e durável. Eles surgiram com a finalidade de auxiliar na automação de máquinas, equipamentos e processos.

O termo sensor é empregado para designar dispositivos sensíveis a alguma forma de energia do ambiente. Ela pode ser: luminosa, térmica, cinética. Essa energia relaciona-se com informações sobre grandeza física que precisam ser medidas, tais como – temperatura, pressão, velocidade, corrente, aceleração, posição etc. (WEDLING, 2010).

“Sensores servem para informar um circuito eletrônico a respeito de um evento que ocorra externamente, sobre o qual ele deva atuar ou a partir do qual ele deva comandar uma determinada ação” (WEDLING, 2010).

Os sensores também podem ser definidos como um transdutor que sofre alteração devido à característica física interna que responde a um fenômeno físico externo. Muda seu comportamento através da ação de uma grandeza física, fornecendo direta ou indiretamente um sinal indicando essa grandeza e convertendo uma quantidade física em um sinal elétrico.

É necessário que se conheça o material a ser detectado para a escolha do tipo de sensor a ser utilizado. Há sensores que detectam somente materiais metálicos, alguns apresentam problemas para detectar materiais transparentes. “Dependendo do tipo de material, fatores tais como o ganho em excesso para os sensores fotoelétricos e a distância sensora operacional para sensores indutivos, devem ser escolhidos adequadamente” (MAZZAROPPI, 2007).

A sensibilidade, a precisão e a exatidão dos sensores são fatores importantes quando se trata da confiabilidade de um equipamento. Já a velocidade de resposta do sensor trata-se daquela que a medida fornecida por ele alcança no valor real do processo. A resposta lenta prejudica muito a eficiência do sistema de controle, impedindo que ele funcione a contento. O ideal é que o sistema utilizado tenha uma resposta instantânea.

Outro fator importante que deve se levar em conta sobre a escolha do sensor refere-se às condições do ambiente no qual o sensor será instalado, pois são de extrema importância. Nos ambientes sujos, empoeirados, sensores fotoelétricos com ganho em excesso baixo não são eficazes.

Ao longo do tempo, uma instalação de equipamento poderá ser submetida a variações bruscas de temperatura, umidade, descargas elétricas causadas por raios, poeira, etc. Mesmo que o equipamento tenha sido construído para impedir a entrada de poeira ou jatos de água, ou

seja, com grau de proteção IP 65, ele foi dimensionado levando em consideração a aplicação em um ambiente industrial

Para que se garanta a durabilidade e desempenho do sensor, ele necessitará de proteções adicionais, com o passar do tempo. “Para isto, a NBR IEC 60529 classifica essas proteções especiais como letras suplementares, as quais são utilizadas além das proteções definidas na classificação IP.

2.2 SENSORES MEDIDORES DE ENERGIA – COMPONENTES DA REDE

A utilização de medidores eletrônicos nas diversas aplicações do *Smart Grid* possibilita o monitoramento em tempo real da rede. Permitem a verificação do consumo energético de um dado usuário, detectando automaticamente uma falha.

Os medidores eletrônicos são responsáveis por todo tipo de medição necessária, excluindo apenas a parte de sensoriamento e possibilitando diversos novos serviços. O principal representante é o medidor inteligente.



Figura 8: Modelo de medidor inteligente

Fonte: https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel879/trabalhos_vf_2014_2/lyang/smartgrid.html

Os dispositivos trocam informações através de tecnologias de comunicação que podem ser implementadas com 3G, WLAN, ZigBee, entre outras. De acordo com as características e necessidades de cada rede é feita essa escolha. Além disso, a comunicação deve ser *full duplex* (bidirecional) entre usuários e concessionárias pela nova característica de consumidores/geradores (prosumidores).

Além de medir, os sensores devem ser capazes de serem controlados remotamente, permitindo todo monitoramento realizado direto das centrais, agilizando algumas tarefas. A centralização, organização e processamento dos dados coletados são feitas pelos sistemas de computação. Os sensores devem estar espalhados por toda rede a fim de capturar as informações necessárias para tomada de decisões das concessionárias.

3 REDES INTELIGENTES DE ENERGIA OU *SMART GRID*

O tema sobre os avanços da tecnologia utilizada nas áreas das telecomunicações e os sistemas de informação tem sido discutido pelas empresas do setor energético no que diz respeito à eficiência, a confiabilidade, a segurança e a qualidade da energia elétrica (QEE).

Muitos desafios operativos, tecnológicos, econômicos e ambientais são enfrentados, atualmente, acarretando um aumento da complexidade do gerenciamento da energia elétrica.

“O sistema de energia elétrica (SEE) do futuro é um sistema desregulamentado com uma elevada penetração da geração distribuída (GD) que só será capaz de fornecer um alto grau de confiabilidade na medida em que fossem aproveitadas as novas tecnologias para o seu fortalecimento” (GRZEIDAK, 2011).

Há afirmações sobre a expressão “redes inteligentes” como um conceito amplo que envolve tecnologias de controle, de armazenamento e de comunicação.

O *Smart Grid* surge com um novo paradigma, uma nova estrutura do sistema elétrico, mudança nas normas e tecnologias relacionadas à QEE.

Ainda em fase de testes no mundo, pesquisas na área da energia elétrica progrediram consideravelmente formulando e promovendo uma visão futura sobre o *SG*. As redes inteligentes de energia têm muitos projetos-piloto com objetivo de aumentar o volume de informações sobre consumo, transmissão, perdas, dentre outras variáveis, orientando os agentes envolvidos em suas escolhas relacionadas ao uso e à geração de energia.

Houve tentativas na criação de portarias e projetos a fim de facilitar a transmutação entre o sistema atual para o *Smart Grid*, mas para automatizar as subestações, substituir os medidores e alterar a estrutura de geração de energia centralizada por uma de formato distributivo, isso ainda é insuficiente.

Para Cabello (2012) o termo *smart grid* ou redes inteligentes “não está associado a uma tecnologia específica”. A autora afirma que mesmo não havendo consenso em relação a uma definição de rede inteligente, há definições que perpassam a ideia do uso de medidores e de transmissão de dados para permitir uma utilização eficiente e segura de recursos. Enfim, o que se pretende é uma rede que utilize mais informações a fim de melhorar as decisões operacionais.

Com a rápida urbanização, várias regiões do mundo influenciadas por fatores econômicos, políticos, geográficos desenvolveram o seu próprio sistema elétrico conforme a sua necessidade. Para Farhangi (2010) “talvez esta não tenha sido a melhor forma, porém, foi suficiente para atender a demanda”.

Rigodanzo (2015) afirma que com um sistema elétrico de estrutura básica inalterada, desde o princípio, a indústria de energia opera com demarcações claras entre geração, transmissão e distribuição de energia, com diferentes níveis de automação e transformação. Há necessidade da evolução do sistema elétrico para atender demandas atuais de forma mais dinâmicas e integradas.

No Brasil, o fluxo de energia é unidirecional, poucos consumidores participam na sua operação e eficiência. A geração de energia é através de usinas hidrelétricas, termoeletricas e nucleares com um maior grau de automação, enquanto a transmissão conta com sistemas de supervisão e de contingência avançados (RIGODANZO, 2015).

A geração centralizada tem sua importância, mas é importante que se encontrem novos modelos para gerenciar um sistema devido ao aumento da demanda mundial de energia anual (GRZEIDAK ET AL, 2011)

Na visão de muitos especialistas a distribuição de energia é feita atualmente de modo arcaica, pois depende de uma única fonte geradora que falhando comprometerá toda rede de abastecimento (CAMARGO, 2009). Para o autor, pode-se criar grande probabilidade de erros com medidores defasados-analógicos.

Rigodanzo (2015) afirma que para muitos autores o sistema elétrico é complexo e envolve muitas variáveis. É unânime a visão de necessidade evolutiva do sistema e chama-se *Smart Grid*.

O *Smart Grid* e os *Smart Meters* têm a finalidade de auxiliar os consumidores no acompanhamento dos gastos de energia tornando-os informados sobre os custos reais do sistema.

3.1 O QUE É *SMART GRID*

O *Smart Grid* é uma inovação tecnológica, uma alternativa para suprir necessidades de distribuição de energia elétrica. Tem adquirido espaço em outros países e em breve será também instalada no Brasil tendo em vista eventos do setor elétrico com constantes falhas e surtos.

O termo *Smart Grid* (do inglês) refere-se a um sistema de energia elétrica que se utiliza da tecnologia da informação para fazer com que o sistema seja mais eficiente (econômica e energeticamente) confiável e sustentável.

Pode-se considerar que *Smart Grid* (SG) ou Rede Inteligente de Energia (RIE) “é a aplicação da tecnologia de informação para o sistema elétrico de potência, integrada aos sistemas de comunicação e infraestrutura de rede automatizada” (Luiz, 2010).

Amim (2005) apresenta SG ou RIE como “uma mudança de paradigma do setor elétrico, levando em conta a necessidade de tornar o sistema de entrega de energia mais interativo por razões que diferem em cada país ou região”.

O *Smart Grid* surgiu da necessidade de uma revisão por parte das companhias de energia em criar novas possibilidades de ações que visam à redução dos danos ambientais, fazendo uso inteligente e consciente do que temos à disposição. A otimização do uso de *Smart Grid* objetiva reduzir custos e melhorar o desempenho buscando equilíbrio entre geradores, operadores e distribuidores do sistema.

Através de sensores e medidores obtém-se a vantagem de controle melhor, monitoramento, eficiência, confiabilidade e segurança. O *Smart Grid* pode ser visto como a rede de energia da próxima geração onde transmissão, a distribuição e a medição são incorporadas aos sistemas computacionais avançados com comunicação bidirecional entre consumidores e concessionárias (RIGODANZO, 2015).

Segundo Fugita (2014)

A *Smart Grid* contempla desde a medição eletrônica, telecomunicação, automação, tecnologia da informação, geração, ferramentas de sensoriamento, capacidade computacional e o armazenamento distribuídos, além de estrutura de fornecimento de energia elétrica a veículos elétricos. Porém, o maior desafio é a coordenação de todo esse novo sistema (FUGITA, 2014).

Na Figura, a seguir, há um esboço da integração entre as fontes de geração de energia e os consumidores.

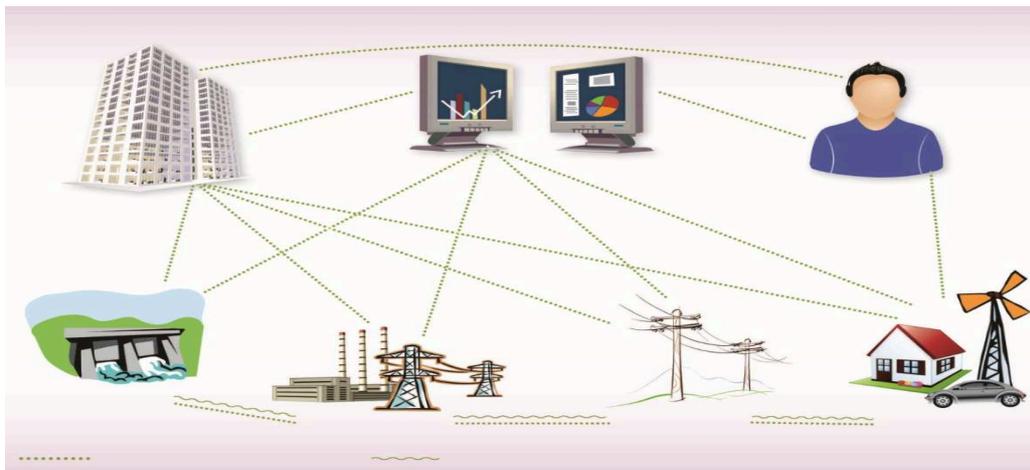


Figura 9: Integração entre as fontes de geração de energia e os consumidores.
Fonte: <http://www.cemig.com.br/pt-br/>

Smart Grid ou redes inteligentes de energia podem ser consideradas uma nova arquitetura de energia elétrica, mais segura e inteligente, que permite e integra ações a todos os consumidores a ela conectados. De forma bidirecional dá-se o fluxo de energia elétrica e de informações.

3.2 COMO FUNCIONAM AS REDES INTELIGENTES DE ENERGIA – *SMART GRID*

O *Smart Grid* tem como característica técnica principal tecnologias mais eficientes para monitoramento do uso de energia. Usa elementos digitais e de comunicações nas redes que transportam a energia. Uma gama de dados e informação é enviada para os centros de controle que tratados auxiliam na operação e controle do sistema como um todo. A modernização da estrutura da rede através de um conjunto de tecnologias acrescenta uma camada de dados digitais à rede tradicional. Medidores digitais inteligentes substituem medidores eletromecânicos representando uma verdadeira revolução no fornecimento de energia. Uma das funções mais importantes dos medidores inteligentes é a capacidade de comunicação com outros equipamentos da rede ou com as unidades consumidoras.

Através da substituição dos medidores os dados de consumo passam da coleta de uma vez por mês para o acompanhamento constante. Um fluxo de dados alimenta um software de monitoramento e controle energético. Sendo assim, as tecnologias envolvidas no conceito de *Smart Grid* podem ser divididas em quatro grupos: medição eletrônica, comunicação, sensoriamento e computação.

No Brasil, muitas concessionárias de energia tendem para adesão do sistema do *Smart Grid*, pois se trata de um sistema que automatiza não só o monitoramento, mas também toda a gestão do uso de eletricidade. Essa implementação interna necessita de adoção de um sistema que integre o funcionamento da Tecnologia Operacional (TO) com a TI.

Existem atualmente seis grandes projetos pilotos em vigor nas regiões Sul, Sudeste e Norte. A maior parte destes projetos são recursos de P&D liberados pela ANEEL as respectivas concessionárias: Light, EDP Bandeirante, Cemig, Copel, Ampla e Eletrobrás. Através da rede inteligente a diminuição do consumo de energia no país será de 10%, segundo a ANEEL. O objetivo é experimentar várias tecnologias simultaneamente que envolvam automação, gestão de redes, iluminação pública, mobilidade elétrica e geração distribuída.

O *Smart Grid* é um novo modelo, interativo tanto para as fontes de geração de energia quanto para as cargas. O modelo central e vertical antigo é substituído por um distribuído e desagregado em que diferentes clientes enfatizam diferentes aspectos da nova rede elétrica de acordo com a sua perspectiva.

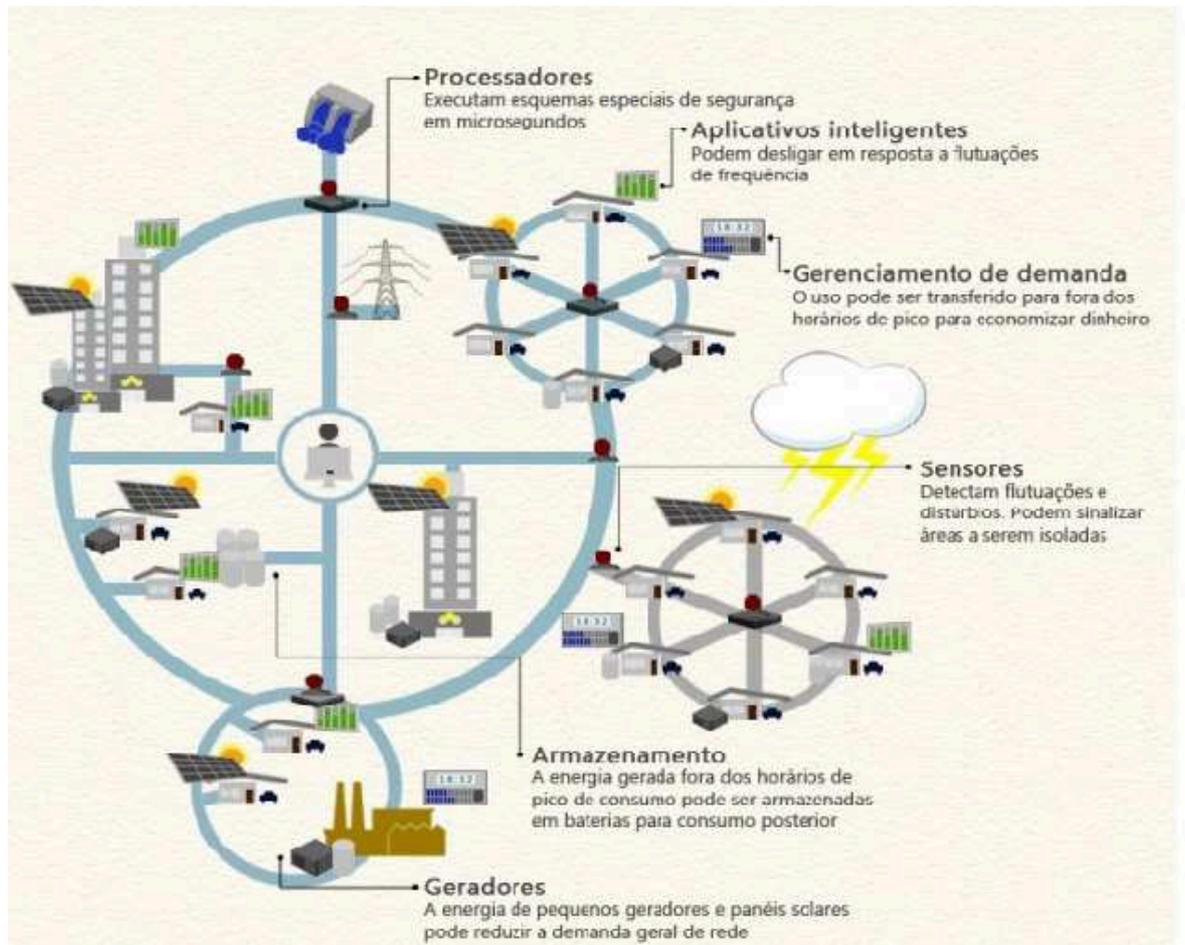


Figura 10: Diagrama do Sistema *Smart Grid*

Fonte: <https://gizmodo.uol.com.br/infografico-o-que-e-como-funciona-e-quais-os-beneficios-do-smart-grid/>

Nesse novo modelo há alta velocidade com tecnologias de medição avançada e controle, uma infraestrutura de comunicação bidirecional suporta as redes. Através de interconexão entre a estrutura de transmissão e distribuição, consumidores e geradores ficam interligados com novos componentes da rede de natureza intermitente – unidades de armazenamento de energia e fontes renováveis.

A energia tradicionalmente gerada, transmitida e distribuída de forma radial a partir de instalações das concessionárias poderá, também, ser gerada e integrada às redes elétricas a

partir de unidades consumidoras. Dessa forma, cria-se o prosumidor – aquele que é produtor e consumidor, ou seja, que produz e que fornece energia à rede.

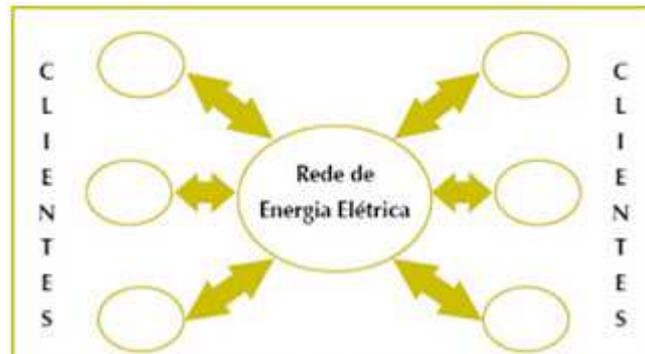


Figura 11: Novo modelo – *Smart Grid*

Fonte: <http://eletrocuriosidades.blogspot.com/2011/11/qualidade-da-energia-eletrica-no.html>

Há uma integração entre o sistema de geração e o usuário final para a *Smart Grid*. Do lado do cliente a mudança é maior. Ele terá cada vez mais participação no mercado com preços em tempo real. A essência do *SG* é implementada em sete princípios básicos:

- Auto-reparo em eventos de perturbação de energia;
- Operar com resiliência contra ataques físicos e cibernéticos;
 - Possibilitar uma participação ativa dos consumidores;
 - Gerar novos produtos, serviços e mercados;
 - Possibilitar a incorporação de todas as opções de geração e armazenamento de energia;
 - Otimizar os recursos e operar eficientemente;
- Fornecer uma QEE segundo os padrões atuais. (GRZEIDAK ET AL, 2011)

Segundo Grzeidak et al (2011) “a base da visão do *SG* é a sua capacidade sinérgica em coordenar recursos múltiplos para efetuar tarefas específicas”. Essa capacidade pode agrupar-se em cinco categorias funcionais do *SG* baseando-se num conjunto de áreas fundamentais de interesse:

- 1) Auto Otimização da Rede: Resposta a demanda, Corte de carga, Capacidade.
- 2) Confiabilidade Diferenciada e Alta: Locais públicos e energia, Energia para emergência, Qualidade da energia e confiabilidade.
- 3) Eficiência Automatizada: Eficiência e gerenciamento online da energia, Programas EE, Eficiência da energia (EE).
- 4) Automação Abrangente e ponta a ponta: Distribuição automatizada, Medição avançada, Eficiência operacional.

- 5) Otimização dos Recursos limpos: Gerenciamento de veículos elétricos, Energia renovável distribuída, Tecnologias limpas.

A partir de sensores instalados nas redes elétricas, dados relativos ao consumo de energia são enviados diretamente da unidade consumidora para a concessionária. Os sistemas comerciais e técnicos da concessionária passarão a ser alimentados pelos sensores. Assim o planejamento da rede torna-se mais efetivo e eficiente.

Através de medidores inteligentes recebidos pelos consumidores há interação entre eles e a concessionária ocorre em tempo real. O acompanhamento das informações pode ser de perto ou pela Internet como a energia é utilizada em casa.

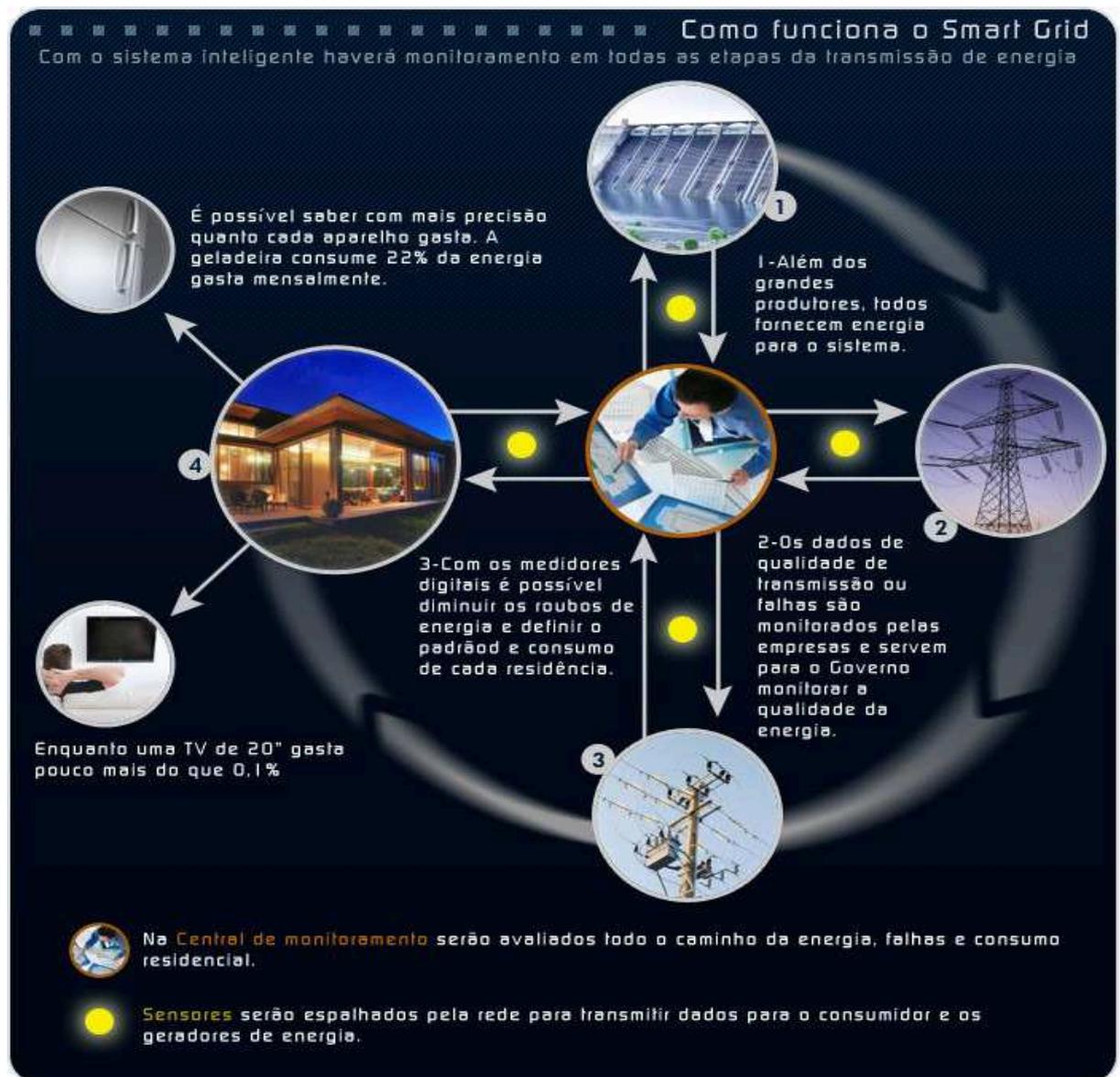


Figura 12: Como funciona o *Smart Grid*

Fonte: <https://www.tecmundo.com.br/internet/3008-smart-grid-a-rede-eletrica-inteligente.htm>

3.3 BENEFÍCIOS DO *SMART GRID*

Os ganhos com a adoção do *Smart Grid* surgiram do uso de maiores informações sobre consumo, transmissão, perdas, entre outras variáveis que guiarão os agentes envolvidos em suas escolhas relacionadas ao uso e à geração de energia.

Devido à maior quantidade de informações e controle dos sistemas, as redes elétricas inteligentes potencializam a redução do custo final da energia elétrica por meio de maior eficiência da rede e melhor gestão da oferta e da demanda de energia.

A possibilidade do acompanhamento do desempenho energético em tempo real é uma das maiores vantagens do *Smart Grid*. Com a identificação rápida e ações preditivas, corretivas e preventivas podem evitar o desperdício.

As redes inteligentes de energia causam um impacto significativo nos custos operacionais. Elas atuam diretamente no combate à ineficiência energética da instituição, assim como qualquer sistema inteligente de gestão de recursos.

Smart Grid não tem apenas caráter técnico, beneficiando somente as etapas de distribuição da energia elétrica, mas a sociedade recebe um grande retorno, principalmente na economia.

Para Santos (2013) a implantação do *Smart Grid* oferece as seguintes vantagens ao sistema de distribuição elétrica do Brasil:

- (1) Processo de restabelecimento do funcionamento normal diante de ocorrências de falhas no Sistema (chamado de “selfhealing”);
- (2) Integração e gerenciamento dos mais diversos tipos e potências de cargas, geradores e armazenadores de energia;
- (3) Resistência a ataques físicos e cibernéticos (evitando fraudes também), sem afetar negativamente o Sistema;
- (4) Oferece energia dentro dos parâmetros de qualidade definidos pelas normas pertinentes (gera maior confiabilidade);
- (5) Levam em consideração os hábitos das unidades consumidoras no desenvolvimento das Redes, dispensando aos mesmos um tratamento mais customizado;
- (6) Permite maior transparência no que se refere à quantidade e período de falhas (respostas mais rápidas, eficazes e eficientes), tanto para o fornecedor como para os órgãos reguladores;
- (7) Colabora para a formação de mercados, contando com novos produtos e serviços;
- (8) Cooperar para uma crescente competitividade da pequena geração e do mercado de varejo;
- (9) Explora a infraestrutura disponível com o máximo aproveitamento possível e com o mínimo de sobrecarga, de modo a reduzir perdas (que chegam a 9,1 TWh /mês a nível nacional) e impactos ambientais (redução da emissão de CO₂ com geração descentralizada renovável);
- (10) Reduz a intervenção humana (menores possibilidades de erros) e os custos de manutenção do Sistema;
- (11) Incentiva a otimização de recursos e operação eficiente de um modo geral (SANTOS, 2013).

Através do sistema *Smart Grid* haverá a diminuição das paradas de fornecimento, redução das perdas na transmissão de energia. Reduzirão em 80% as quedas de energia e a

perda será de 10%, pelo fato do Grid acionar automaticamente a central e informar o local do ocorrido possibilitando respostas rápidas e manutenção pró-ativa. Diferente do que ocorre atualmente quando um transformador apresenta defeito e a notificação do problema depende da ligação de um cliente para a central (WOOD, 2007).

Com a reformulação da rede os clientes poderão ter medidores que reportam o uso de energia automaticamente, relógios serão eliminados e haverá possibilidade de descontos no caso da diminuição do consumo de energia nas horas de pico pelo usuário.

Serão inúmeras possibilidades trazidas pela implementação do *Smart Grid* para as concessionárias, tais como, detecção e correção de eventuais falhas mais rapidamente e combate de fraudes e ligações clandestinas conhecidas como “gatos”. Além disso, trará mais eficiência energética, firmando um novo conceito de relacionamento das empresas de energia e seus consumidores através de novas estratégias de controle de utilização e tarifação.

Segundo o engenheiro José Gonçalves Vieira, superintendente de Novos Negócios e Telecomunicações da CELG, “Os investimentos para o *Smart Grid* não são elevados frente aos benefícios colhidos. A prospecção de custo/benefício, levando em conta diferentes arquiteturas e técnicas e com base em determinado nível de investimentos, indica resultados totalmente favoráveis (...)”.

A CASA INTELIGENTE

Os benefícios

- Baixo custo de energia
- Energia limpa
- Conservação da energia
- Melhoramento da eficiência energética

Medidor inteligente

- Preço da tarifa em tempo real.
- Acompanhamento do consumo

Aparelhos inteligentes

- Aparelhos programados para não funcionar em horários de pico

Sensores

- Sensores em toda a rede medem a qualidade da transmissão



Produção

- Consumidor pode produzir a própria energia

Figura 13: A casa inteligente

Fonte: <https://www.tecmundo.com.br/internet/3008-smart-grid-a-rede-eletrica-inteligente.htm>

CONCLUSÃO

Muitas são as expectativas em torno de uma tecnologia que atenda a integração dos consumidores e das concessionárias a fim de evitar perdas para ambos.

O *Smart Grid* é uma rede interligada, que vem tendo alguns projetos-piloto que aprofundam a eficiência energética e a sustentabilidade, para que não haja desperdício, necessitando de ajustes diante de algumas divergências regionais que impedem até o momento uma única solução de telecomunicações.

O estudo feito sobre esse tema aperfeiçoou nosso conhecimento sobre sensores medidores utilizados como principal equipamento no sistema *Smart Grid* e sobre o sistema de distribuição de energia elétrica.

Um dos fatores positivos do sistema *Smart Grid* é permitir que o consumidor acompanhe o consumo instantâneo e exato da energia elétrica acessando as informações por um aplicativo a respeito do próprio consumo a qualquer momento e alertados sobre algum desperdício, tendo técnicos disponíveis vinculados a concessionária atentos, fiscalizando o sistema para que não haja queda de energia e se houver seja restabelecida rapidamente.

Concluimos com isso que é comprovado que o sistema é bidirecional, tendo dois pólos, concessionária e consumidor que trocam informações sobre o consumo de energia, contrariando o unidirecional que é usado atualmente.

REFERÊNCIAS

- ABREU, Y. V. de, OLIVEIRA, M. A. G. de, MALLETT, S.. **Energia Sociedade e Meio ambiente**. Málaga, Espanha: Eumed.Net, Universidade de Málaga, 2010. 175 p. Disponível em: [http://www.eumed.net/libros-gratis/2010c/723/RESUMO%20DA%20HISTORIA%20DA%20INDUSTRIA%](http://www.eumed.net/libros-gratis/2010c/723/RESUMO%20DA%20HISTORIA%20DA%20INDUSTRIA%20). Acesso em 17 set. 2018.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). 2007. Apresenta informações ligadas às atribuições da agência. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/a-aneel>. Acesso em: 18 set. 2018.
- ALMEIDA, J. A. J., RAMOS, F. S.. **Ciência, Tecnologia e Inovação no Setor Elétrico Nordeste**: a contribuição dos Projetos de Pesquisa Científica e Desenvolvimento Tecnológico (P&D) da Companhia Hidroelétrica do São Francisco (Cheef). 2008.
- AMIM, M.; SCHEWE, P. F. **Preventing Blackouts**. Scientific American, 2005.
- BARBIERI, J. C. Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2007.
- BRASIL. Decreto nº 5.163 de 30 de julho de 2004. Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5163.htm>. Acesso em: 19 set. 2018.
- CABELLO, A. F. **Redes inteligentes no Brasil**: necessidade de uma avaliação adequada de custos e benefícios. Revista Radar. n. 19, 2012. Disponível em: http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/4185/1/Radar_n19_Redes.pdf. Acesso em 19 out. 2018.
- CAMARGO, C. **Smart Grid**: a rede elétrica inteligente, 2009. Disponível em: <http://www.tecmundo.com.br/3008-smart-grid-a-rede-elétrica-inteligente.htm>. Acesso em 21 de out de 2018.
- DUNN, S.; FLAVIN, C.. **Sizing up micropower**. In: BROWN, L. R.; FLAVIN, C.; FRENCH, H. F. (Org.). State of the world 2000. Washington: Worldwatch Institute, 2000.
- FARHANGI, H. The path of the smart grid. **Power and Energy Magazine**, IEEE, v.8, n.1. 2010.

FARIAS, L. M.; SELBITTO, M. A. **Uso da energia ao longo da história: evolução e perspectivas futuras.**(2011) Disponível em [http://www.liberato.com.br/sites/default/files/arquivos/Revista_SIER/v.%2012,%20n.%2017%20\(2011\)](http://www.liberato.com.br/sites/default/files/arquivos/Revista_SIER/v.%2012,%20n.%2017%20(2011)) / Acesso em: 17 set. 2018.

FUGITA, S. D. **Smart meter integrado a analisador de qualidade de energia para propósitos de identificação de cargas residenciais.** 126 f. Tese de Doutorado em Engenharia Elétrica – Área de Concentração em Sistemas Elétricos de Potência. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2014.

GRANZA, H. G.; VOLTOLINI, H. Comparativo da energia hidrelétrica no Brasil: uma utilização da energia eólica como alternativa. 2010. Disponível em: <http://www.ufsm.br/congressodireito/anais/2013/5-1.pdf> . Acesso em: 17 set. 2018.

GROSS, C. A. **Power System Analysis.** 2 ed. New York: John Wiley. 1986.

GRZEIDAK, E. et al. **Qualidade de energia elétrica no contexto de smart grid.** O setor elétrico. 2011. Disponível em: <http://eletrocuriosidades.blogspot.com/2011/11/qualidade-da-energia-eletrica-no.html> Acesso em 20 de out. de 2018.

LEAO, R. **GTD – Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica.** Universidade Federal do Ceará. Centro de Tecnologia. Departamento de Energia Elétrica. 2009. Disponível em <http://www.clubedaeletronica.com.br/Eletricidade/PDF/Livro%20GTD.pdf>. Acesso em 12 set. 2018.

LEZAMA, J. M. L., FELTRIN, A. P. Alocação e dimensionamento ótimo de geração distribuída em sistemas com mercados elétricos. Trabalho completo apresentado no XVII Congresso Brasileiro de Automática, Juiz de Fora, Minas Gerais, 2008.

LUIZ, F. C. **O que é Smart grid?** 2014. Disponível em: <http://smartgridnews.com.br/o-que-e-smart-grid/>. Acesso em 21 de out de 2018.

MARTINS, C. C.; ASSIS, T. M. L.; TARANTO, G. N. Análise do impacto da geração distribuída em sistemas elétricos de potência através de simulação rápida no tempo. Trabalho completo apresentado no XV Congresso Brasileiro de Automática, Gramado, Rio Grande do Sul, 2004.

MAZZAROPPI, M. **Sensores de Movimento e Presença** (Monografia de Engenharia Elétrica). Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro – Escola Politécnica –

Departamento de Engenharia Elétrica, 2007. Disponível em <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10001369.pdf>. Acesso em 27 set. 2018.

MORAES, D. C. de; SANTOS, M. L. dos; BALDISSERA, L. B. , A implementação da geração d energia elétrica de forma distribuída como vetor na busca pelo desenvolvimento sustentável. In: 2º CONGRESSO INTERNACIONAL DE DIREITO E CONTEMPORANEIDADE, Edição 2013, Santa Maria – RS: Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, 2013.

MOTA, H. S. Análise técnico econômica de unidades geradoras de energia distribuída. Dissertação de Mestrado (Ciências na Área de Tecnologia Nuclear). Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – Autarquia Associada à Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

NAKATA, C.; VISWANATHN, M. From impactul research to sustainable innovations for subsistence marketplaces. *Journal of Business Research*, v. 65, n. 12, p. 1655-1657, 2012.

PÉREZ, C. Technological dynamism and social inclusion in Latin America: a resource-based production development strategy. *Cepal Review*, v. 100, p. 121-141, 2010.

PONTES, C. E V. et al. Desempenho Dinâmico da Geração Distribuída Frente a Perturbações no SIN e de Manobras na Rede de Distribuição. Trabalho completo apresentado no V Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, Belém, Pará, 2009.

RIBEIRO, P.; FERREIRA, F.; MEDEIROS, F. Geração distribuída e impacto na qualidade de energia. Trabalho completo apresentado no VI Seminário Brasileiro sobre Qualidade de Energia Elétrica, Belém, Pará, Brasil, 2005.

RIGODANZO, J. **Instalação de medidores inteligentes no Brasil: uma análise econômica.** 120 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica. Santa Maria (RS). Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), 2015.

RODRIGUES, A. de F. **Análise de viabilidade de alternativas de suprimento descentralizado de energia elétrica a comunidades rurais de baixa renda com base em seu perfil de demanda.** 146 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2006.

RODRIGUEZ, C. R. C. **Mecanismos regulatórios, tarifários e econômicos na geração distribuída: o caso dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede.** 135 f. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. Campinas, SP. 2002.

SANTOS, M. J.. **Smart Grid no Brasil: até quando esperar?**, Universidade de São Paulo/ Instituto de Energia e Ambiente (USP/IEE). São Paulo, 2013.

SILVEIRA, A. D., CARVALHO, A. D. P., KUNZLER, M. T., CAVALCANTE, M. B., CUNHA, S. K.. **Análise do Sistema Nacional de Inovação no Setor de Energia na Perspectiva das Políticas Brasileiras**. Rio de Janeiro, cad. EBAPE.BR, v.14, Edição Especial, Artigo 6, jul. 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cebape/v14nspe/1679-3951-cebape-14-spe-00506.pdf>. Acesso em 20 set. 2018.

WENDLING, M. **Sensores**. Universidade Estadual Paulista – UNESP – Campus de Guaratinguetá. Colégia Técnico Industrial de Guaratinguetá. 2010. Disponível em: <http://www2.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/ProfMarceloWendling/4---sensores-v2.0.pdf>. Acesso em 27 set. 2018.

WRIGHT, J. T. C., CARVALHO, D. E., SPERS, R. G.. Tecnologia disruptivas de geração distribuída e seus impactos futuros sobre empresas de energia. **RAI – Revista de Administração e Inovação**, São Paulo, v.6, n.1, p. 108-125, 2009.

Sites

<https://www.cpf.com.br/energias-sustentaveis/eficiencia-energetica/uso-consciente/historia-da-energia/Paginas/default.aspx>

https://pt.wikipedia.org/wiki/Rede_el%C3%A9trica_inteligente

<https://www.meupositivo.com.br/panoramapositivo/o-que-e-smart-grid/>

<http://www.abradee.com.br/setor-de-distribuicao/a-distribuicao-de-energia>

<https://alunosonline.uol.com.br/geografia/redes-distribuicao-energia-eletrica-no-brasil.html>

http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/informacoes_gerenciais