

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

Dariene Kelly Silva

Isadora Galvão de Paula

TECNOLOGIAS DE *SMART GRID*

Taubaté - SP

2017

**DARIENE KELLY SILVA
ISADORA GALVÃO DE PAULA**

TECNOLOGIAS DE *SMART GRID*

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

Orientador: Prof. Dr. Luiz Octávio Mattos dos Reis

**Taubaté – SP
2017**

**Ficha Catalográfica elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado
de Bibliotecas / UNITAU - Biblioteca das Engenharias**

P324t Paula, Isadora Galvão de
Tecnologias de smart grid. / Isadora Galvão de
Paula, Dariene Kelly Silva. - 2017.

51f.: il; 30 cm.

Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica e
Eletrônica) – Universidade de Taubaté. Departamento
de Engenharia Mecânica e Elétrica, 2017

Orientador: Prof. Dr. Luiz Octávio Mattos dos Reis,
Coorientador: Eng. João Roberto de Moraes.
Departamento de Engenharia Elétrica e Eletrônica.

1. Rede inteligente. 2. Sistema elétrico. 3. Energia
elétrica. I. Título.

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ

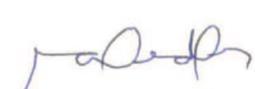
TECNOLOGIAS DE *SMART GRID*

DARIENE KELLY SILVA

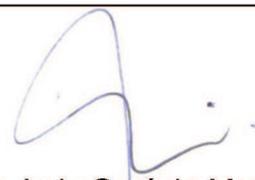
ISADORA GALVÃO DE PAULA

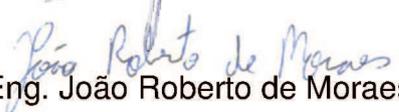
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO PARTE
DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE “**GRADUADO EM
ENGENHARIA ELÉTRICA**”

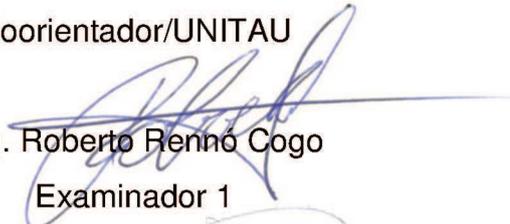
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO COORDENADOR DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

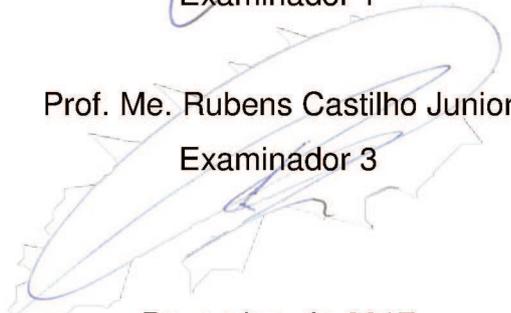

PROF. DR. MAURO PEDRO PERES
COORDENADOR

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. Luiz Octávio Mattos dos Reis
Orientador/UNITAU


Eng. João Roberto de Moraes
Coorientador/UNITAU


Eng. Roberto Rennó Cogo
Examinador 1


Prof. Me. Rubens Castilho Junior
Examinador 3

Dezembro de 2017

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse ao longo de nossas vidas.

A esta universidade pela oportunidade de realizar o curso.

Ao nosso orientador, Prof. Dr. Luiz Octávio Mattos dos Reis por toda a paciência e dedicação, não somente durante a elaboração deste trabalho, mas também por todos os anos cursados.

Agradecemos a todos os professores por nos proporcionarem o conhecimento não apenas racional, mas também a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional, por tanto que estes dedicaram a nós, não somente por terem nos ensinado, mas por terem feito-nos aprender.

Aos nossos pais, heróis que nos deram apoio e incentivo nas horas difíceis de desânimo e cansaço, o que, para nós, foi muito importante.

Nossos agradecimentos aos amigos, companheiros de trabalhos e irmãos na amizade que fizeram parte da nossa formação e que, com certeza, vão continuar presentes em nossas vidas.

“Todo ser vivo é um motor engrenado na roda de trabalho do Universo. Embora aparentemente afete apenas o seu entorno imediato, a esfera de influência externa se estende a distância infinita”.

Nikola Tesla

RESUMO

As diversas áreas de tecnologia *Smart Grid* abrangem todo o sistema, cada qual constituindo um conjunto de tecnologias individuais. Assim, denominados de redes de geração, transmissão, distribuição e cargas, conjuntamente a vários tipos de consumidores de eletricidade, os sistemas elétricos são o alvo de aplicação dos sistemas inteligentes. Algumas das tecnologias estão sendo ativamente implantadas com sucesso em sistemas de vários países. O desenvolvimento e aplicação de outras tecnologias têm exigido maiores melhorias e testes para obterem-se o sucesso desejado. Um sistema elétrico totalmente otimizado deverá abranger todas as áreas da tecnologia de *Smart Grid*. O panorama da tecnologia de *Smart Grids* no Brasil conta com o apoio da APTEL, que é uma associação de utilidade pública que vem trabalhando com o governo brasileiro em testes de operadoras de rede de banda estreita com propósitos sociais e educacionais. Alguns projetos estão sendo desenvolvidos e implantados no Brasil, entre os quais se citam: Ampla, distribuidora de energia elétrica do Estado do Rio de Janeiro; da Endesa, que está implantando medidores inteligentes e redes seguras para reduzir as perdas decorrentes de conexões ilegais. A AES Eletropaulo, distribuidora do Estado de São Paulo, desenvolveu um plano de negócios de *Smart Grid* utilizando o *backbone* de fibra óptica existente. A concessionária CEMIG iniciou um projeto de rede inteligente baseado na arquitetura do sistema desenvolvido pelo Consórcio IntelliGrid, uma iniciativa do Instituto de Pesquisa de Energia Elétrica com sede na Califórnia. Por tratar-se de uma área de atuação de vanguarda, o presente trabalho apresentará um estado da arte sobre o tema *Smart Grid*, os projetos já implantados com sucesso e as áreas com potencial para aplicação no Brasil.

PALAVRAS-CHAVE: Rede Inteligente, Sistema Elétrico, Energia Elétrica.

ABSTRACT

The umpteen areas of Smart Grid technology embrace the entire system, each one composing a set of individual technologies. Therefore, labeled as generation, transmission, distribution and load grids, along with several electricity consumers types, Smart Grids appliance aims the electrical systems. Some technologies are successfully being implanted in systems of various countries. The development and application of other technologies have required further improvements and testing to achieve the desired success. A fully optimized electrical system must include every Smart Grid technology fields. The Smart Grid technology overview in Brazil leans on APTEL which is a public utility association that has been working alongside the Brazilian government in narrowband network operators testing with social and educational purposes. Some projects are being developed and implanted in Brazil, among which are referred to: Ampla, an electric power distributor of the state of Rio de Janeiro; Endesa, which is implanting smart meters and safe grids to reduce losses due to illegal connections. AES Eletropaulo, distributor of the state of São Paulo, developed a Smart Grid business plan using the actual optical fiber backbone. CEMIG concessionaire started a Smart Grid project based on the system architecture developed by IntelliGrid consortium, an initiative of the California-based Electric Energy Research Institute. Since this is a cutting-edge area of operation, this work is going to present a state of the art about Smart Grids, successfully implemented projects and potential areas for application in Brazil.

KEYWORDS: Intelligent Network, Electrical System, Electric Power.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1: Vínculo dos interesses viabilizados pela <i>Smart Grid</i> | 12 |
| Figura 2: Redução regional de emissão de CO ₂ com a <i>Smart Grid</i> | 13 |
| Figura 3: Simulação de perda na linha..... | 16 |
| Figura 4: Taxa de crescimento populacional anual global..... | 17 |
| Figura 5: Taxa de crescimento anual em porcentagem | 17 |
| Figura 6: Consumo de eletricidade doméstica | 18 |
| Figura 7: Variações de CO ₂ , temperatura e concentração de pó em um núcleo de gelo Antártico durante os últimos 450 mil anos..... | 19 |
| Figura 8: Processo de eficiência energética na Europa 1996~2007 | 20 |
| Figura 9: Produção mundial de energia 1989~1999 (10 ¹⁵ Btu) | 21 |
| Figura 10: Energia mundial consumida per capita 2003 (quilos equivalentes de petróleo) | 21 |
| Figura 11: Evolução do consumo de Energia Elétrica..... | 22 |
| Figura 12: Comparação entre geração convencional e geração distribuída | 23 |
| Figura 13: Alterações no Sistema de Distribuição, Velho Setor contra Novo Setor .. | 25 |
| Figura 14: Projeto InovCity | 26 |
| Figura 15: Cenário Escolhido – Abrangência do Projeto | 27 |
| Figura 16: Topologia de Comunicações..... | 27 |
| Figura 17: Sistemas mais inteligentes de eletricidade..... | 30 |
| Figura 18: Áreas da tecnologia <i>Smart Grid</i> | 32 |
| Figura 19: Crescimento do Consumo de Eletricidade 2007-2050 | 37 |
| Figura 20: Aumento da demanda relativa de eletricidade em relação ao PIB de um país | 38 |
| Figura 21: Geração de Eletricidade Variável por Região | 39 |
| Figura 22: Projetos Piloto no Brasil | 41 |
| Figura 23: Projeto Eletropaulo Digital | 44 |
| Figura 24: Atividades do Projeto Eletropaulo Digital | 44 |
| Figura 25: Áreas de Desenvolvimento - InovCity | 45 |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS | 11 |
| 1.1 MOTIVAÇÃO..... | 12 |
| 1.2 OBJETIVOS GERAIS..... | 14 |
| 1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 14 |
| 1.4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 14 |
| 2 SMART GRID | 29 |
| 2.1 COMPONENTES TECNOLÓGICOS DA <i>SMART GRID</i> | 31 |
| 2.1.1 Controle e monitoramento..... | 32 |
| 2.1.2 Tecnologias de informação e comunicação (TIC)..... | 32 |
| 2.1.3 Geração integrada e distribuída..... | 33 |
| 2.1.4 Aprimoramento de transmissão | 33 |
| 2.1.5 Gerenciamento da rede de distribuição | 33 |
| 2.1.6 Infraestrutura avançada de medição (AMI) | 33 |
| 2.1.7 Infraestrutura de recarga de veículos elétricos | 34 |
| 2.1.8 Sistemas cliente-servidor (CS)..... | 34 |
| 2.2 CARACTERÍSTICAS..... | 34 |
| 2.3 APLICAÇÕES | 36 |
| 2.3.1 Necessidades do sistema elétrico atual e futuramente | 37 |
| 2.3.2 Implantação de tecnologia de geração variável | 38 |
| 2.4 TECNOLOGIAS | 39 |
| 3 APLICAÇÕES | 41 |
| 3.1 AMAZONAS | 41 |
| 3.2 CEARÁ..... | 42 |
| 3.3 PERNAMBUCO..... | 42 |
| 3.4 MINAS GERAIS | 42 |
| 3.5 RIO DE JANEIRO | 42 |
| 3.6 SÃO PAULO..... | 43 |
| 3.7 PARANÁ..... | 45 |
| 3.8 A INICIATIVA DE APLICAÇÃO NO BRASIL..... | 46 |
| 4 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS | 47 |
| REFERÊNCIAS | 49 |

1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Os métodos atuais de geração, distribuição e uso de energia elétrica são insustentáveis nos âmbitos social, ambiental e econômico. Segundo as estatísticas, se não houver mudanças decisivas, a crescente demanda de combustíveis fósseis para produção de energia aumentará a preocupação em torno da segurança das fontes e a emissão de dióxido de carbono irá dobrar até 2050. (*TECHNOLOGY... 2011*)

Com isso, há uma necessidade urgente de implantação de novas tecnologias em torno da produção, distribuição e utilização da energia.

Para minimizar esses problemas, aumentar a segurança energética, melhorar o desenvolvimento econômico e amenizar as mudanças climáticas; atitudes, como o desenvolvimento de *Smart Grids*, possibilitam respostas a demandas maiores, maior eficiência, integração de fontes de energias renováveis e serviços de recarga de carros de elétricos, enquanto se reduz o pico de demanda e se estabiliza o sistema elétrico. (*TECHNOLOGY... 2011*)

Smart Grid é um conjunto de tecnologias inovadoras que serão aplicadas aos sistemas elétricos, assim abrangendo as áreas de geração, transmissão, distribuição, operação e consumo. É uma rede nacional planejada que utiliza tecnologia da informação para fornecer eletricidade com eficiência, confiabilidade e segurança. Ao contrário da rede atual, que principalmente transmite eletricidade em apenas uma direção (da geração ao consumo final), a *Smart Grid* permitirá o fluxo de eletricidade e informação em todas as direções da rede.

São diversas as vantagens da *Smart Grid*. A rapidez em detecção de falhas pelas concessionárias de energia possibilita o reparo de possíveis danos à rede, majoritariamente dispensando a intervenção de um técnico e sem necessariamente interromper o fornecimento de energia. Ela também possibilita que o consumidor acompanhe dados detalhados de seu consumo diário por um *smartphone*, *tablet*, computador ou televisão que tenham conexão com a internet, assim há maior interação com as concessionárias; além de fazer possível a integração de várias fontes de geração de energia.

No Brasil, existem vários projetos de instalação desta nova tecnologia, porém as concessionárias ainda estão em fase de teste, realizando algumas instalações para analisar possíveis defeitos e realizar melhorias antes da implantação em larga escala.

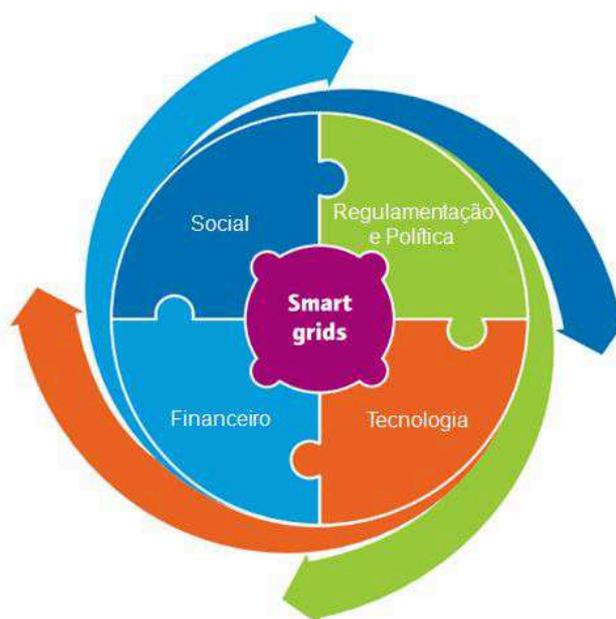
Estados como Amazonas, Ceará, Pernambuco, Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo e Paraná já recebem algumas amostras do projeto.

Por fim, dividiu-se a apresentação desta monografia considerando inicialmente, no capítulo 1, a motivação para desenvolvimento do trabalho, os objetivos gerais e específicos e a revisão bibliográfica. No capítulo 2, apresentam-se as definições de *Smart Grid* e os componentes da tecnologia. No capítulo 3, apresentam-se algumas aplicações práticas em desenvolvimento e já implementadas no Brasil. No capítulo 4, apresentam-se as conclusões e trabalhos futuros.

1.1 MOTIVAÇÃO

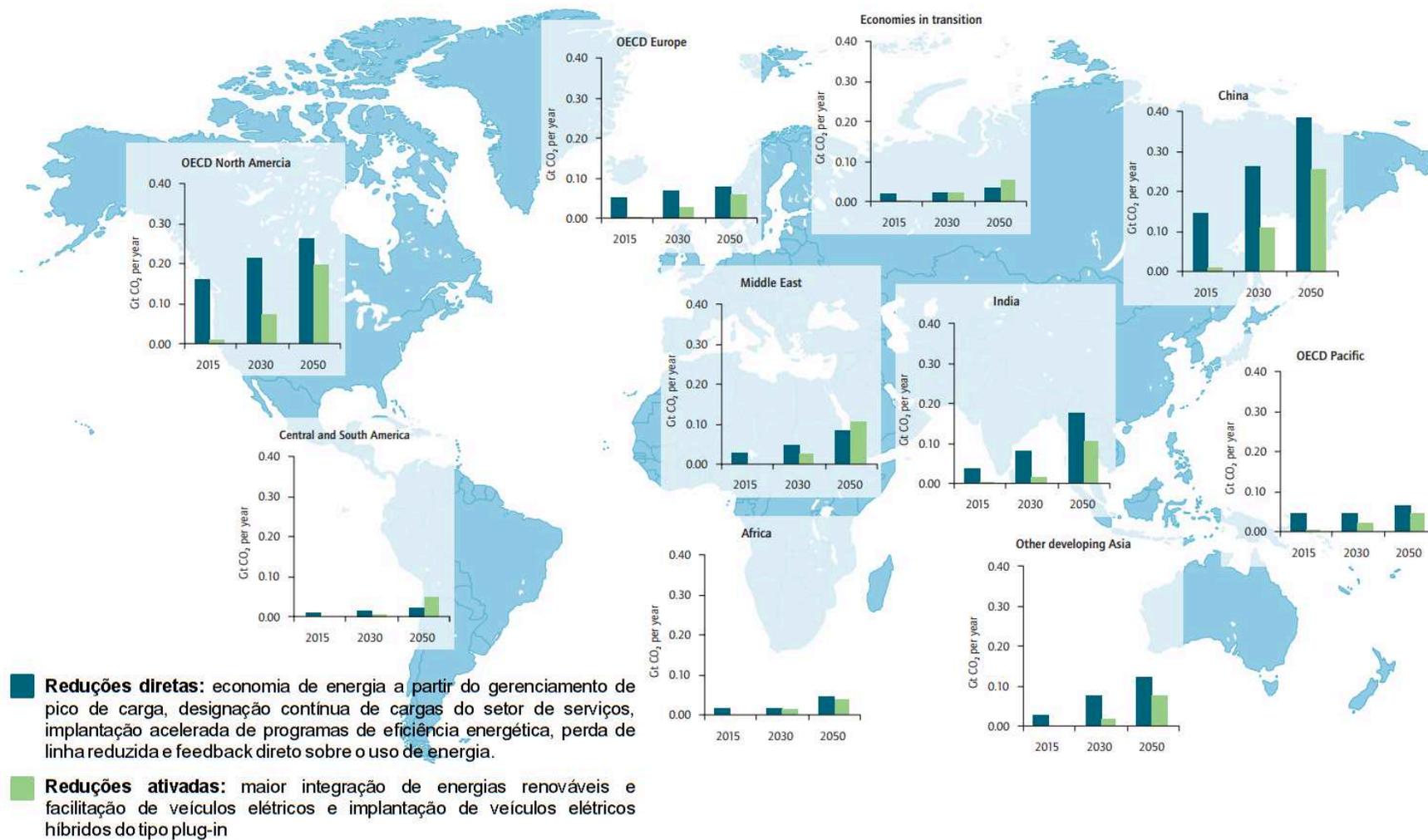
Os sistemas elétricos do mundo enfrentam uma série de desafios, incluindo o envelhecimento das infraestruturas, o crescimento contínuo da demanda, a integração de um número cada vez maior de fontes de energia renováveis variáveis e de veículos elétricos, a necessidade de melhorar a segurança do abastecimento e a necessidade de reduzir as emissões de carbono. As tecnologias de *Smart Grid* oferecem formas não apenas de enfrentar esses desafios, mas também de desenvolver um suprimento de energia mais limpo que seja mais eficiente em energia, mais acessível e mais sustentável, como são apresentados nas Figuras 1 e 2. (TECHNOLOGY... 2011)

Figura 1: Vínculo dos interesses viabilizados pela *Smart Grid*



Fonte: (TECHNOLOGY... 2011)

Figura 2: Redução regional de emissão de CO₂ com a *Smart Grid*



Fonte: (TECHNOLOGY...2011)

Falhas na rede de distribuição sofrem o efeito dominó – séries de falhas que podem afetar os sistemas bancários, comunicações, tráfego e segurança. A *Smart Grid* traz resiliência ao sistema de energia elétrica e a torna melhor preparada para atender a emergências como tempestades severas, terremotos, ataques criminosos, entre outras; além de oferecer ferramentas necessárias para permitir que os consumidores acessem suas informações de consumo.

1.2 OBJETIVOS GERAIS

O presente trabalho analisará a energia elétrica no Brasil e no mundo de acordo com sua geração, transmissão, distribuição e consumo, de forma que possa explicitar a necessidade de sua modernização, no caso, a implementação de tecnologias de *Smart Grid*; além de demonstrar estudos específicos relacionados a essas tecnologias com intuito de disseminação do assunto para aplicação no Brasil.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Este trabalho de graduação tem como objetivos específicos estudar a crescente demanda de energia elétrica no mundo, o que, conseqüentemente, remete à necessidade de modernização dos métodos de operação de eletricidade; assim como, realizando uma análise comparativa em relação ao sistema atual de geração e distribuição, demonstrar as vantagens no uso das tecnologias de *Smart Grid*, tendo como obstáculo algumas dificuldades de implantação dessas tecnologias, dado o cenário político e econômico atual. Também é parte dos objetivos realizar a definição detalhada de redes inteligentes e suas tecnologias, apontar a disponibilidade de implementação dessas inovações em território brasileiro e mostrar onde o sistema é aplicado atualmente.

1.4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Hotakainen e Klimstra (2011) afirmam que o ser humano ficou dependente da eletricidade desde a sua descoberta. Sem ela, o mundo estaria estagnado no passado. Basicamente, uma carga elétrica é uma propriedade de algumas partículas subatômicas carregadas, onde seu movimento gera corrente elétrica. Há milhares de

anos, peixes elétricos, como o poraquê e a enguia, já eram conhecidos, assim como alguns métodos de produção de eletricidade estática. A possibilidade de controlar a energia elétrica transformou a sociedade por completo. Desde o século 18, Benjamin Franklin, Luigi Galvani, Alessandro Volta, André-Marie Ampère, Georg Ohm e Nikola Tesla estão entre os pioneiros desses estudos. Outra grande descoberta foi o fenômeno de interação entre eletricidade e magnetismo, o eletromagnetismo. Com todas essas evoluções científicas, a eletricidade passou a ser essencial no dia-a-dia, além de ser um grande símbolo da segunda revolução industrial, abrindo as portas para o avanço da comunicação e, então, para a revolução digital.

Com todo esse crescimento, há necessidade em realizar constantes melhorias nas tecnologias que envolvem geração, distribuição e consumo de eletricidade.

Buevich et al. (2015) diz que perdas fora do contexto técnico representam um grande contratempo no serviço elétrico em países em desenvolvimento. Segundo o *World Bank Group*, 2011, estima-se que 15% da capacidade de geração na América Latina é desperdiçada em roubos, ausência de medidores em algumas casas, ausência de pagamento de consumidores, o que pode ocasionar problemas financeiros aos provedores, entre outros. Unindo estes problemas à corrupção e legislação branda desses países, existem problemas na geração e distribuição de energia, o que leva à insatisfação de clientes e aumento nos custos de consumo.

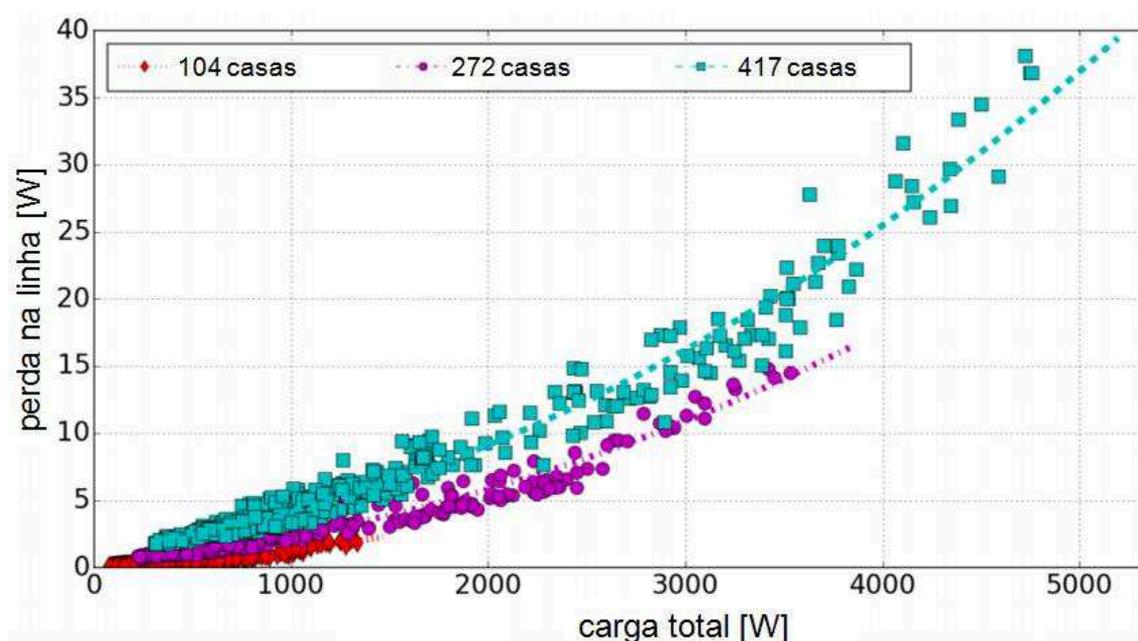
A possibilidade de localizar essas perdas e resolver problemas diretamente com os consumidores é de grande benefício para a sociedade em geral. A medição inteligente permite que as concessionárias façam isso em tempo real, enquanto os sistemas convencionais de medição fornecem dados apenas mensalmente. (BUEVICH, 2015)

Segundo Pelielo e Accácio (2016), os problemas energéticos aumentaram proporcionalmente ao crescimento da população mundial. Com isto, propõe-se distribuir a geração de energia com o intuito de reduzir as longas redes de transmissão que geram perdas e custos de operação e manutenção. Tendo em vista o aumento da geração distribuída, é necessário realizar a integração e interação entre agentes geradores, consumidores, distribuidores e armazenadores de energia fazendo com que a rede se torne inteligente com a inserção de sensores e medidores para identificação de fornecimento, consumo, problemas e perdas.

Pode-se analisar as perdas presentes nas linhas de transmissão como mostra a Figura 3, onde Buevich (2015) apresenta uma simulação de vários cenários de carga

variando o número de casas conectadas à rede. O primeiro cenário representa Los Angeles, onde existem 430 casas conectadas por 6835 metros de rede; o segundo restringe o número de casas conectadas em cada polo para serem menores ou iguais a 3, onde 272 casas estão conectadas por 4631 metros de rede; o último é o caso de cada polo apenas se conecta a uma casa, onde há 104 casas e as redes somam 1886 metros no total. Os fluxos de energia para os cenários descritos são simulados a cada 15 minutos por 24 horas, sendo 96 simulações para cada cenário. A perda de linha e a carga total na grade para cada uma dessas simulações são traçadas na Figura 3, onde cada ponto representa uma simulação. Do gráfico, observa-se que quanto mais casas estão conectadas à grade, maior a porcentagem de perda de linha para a carga total.

Figura 3: Simulação de perda na linha



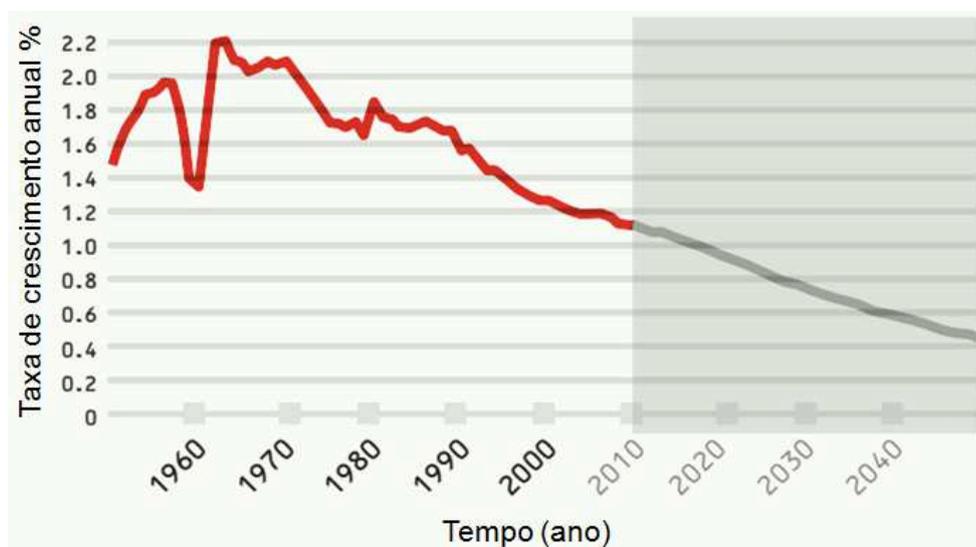
Fonte: (BUEVICH, 2015)

Conforme analisam Hotakainen e Klimstra (2011), o exponencial crescimento da população mundial, o padrão de vida mais alto, as mudanças climáticas, o aumento da importância da eletricidade e da eficiência energética são questões que demandam atenção mundial agora e no futuro, estes serão discutidos a seguir.

O grande problema do aumento populacional não é a falta de espaço, porém a reserva de recursos básicos para sobrevivência humana, como água e comida, é um fator preocupante. A maior taxa de crescimento populacional foi em torno de 1970

com 2,1% por ano; atualmente, a taxa é de 1,2%. A Figura 4 apresenta a taxa e a estimativa de crescimento da população desde 1950 até 2040 (Hotakainen e Klimstra, 2011).

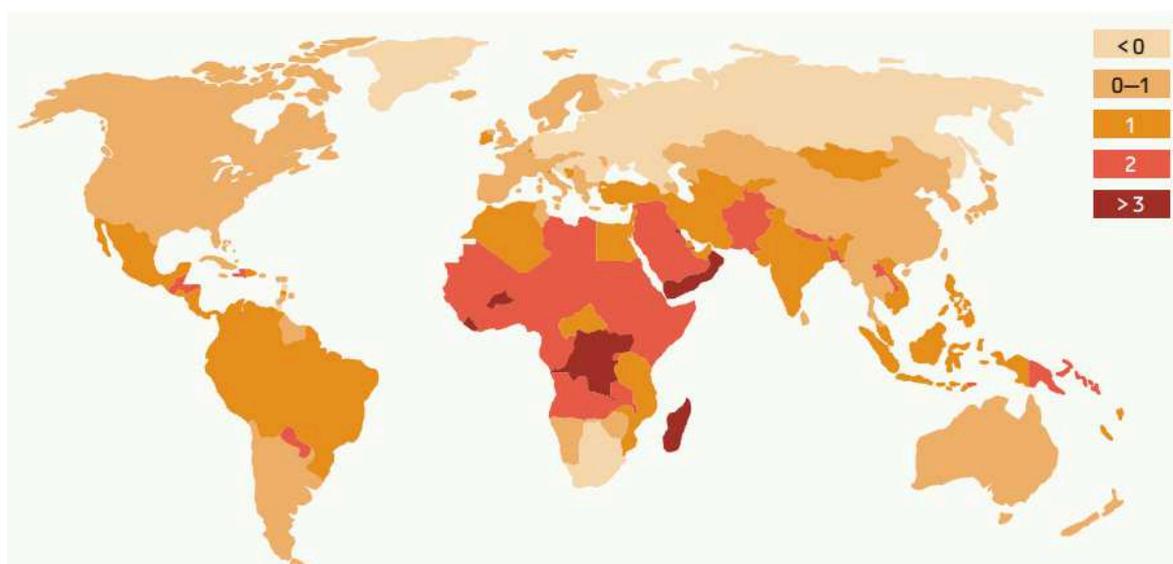
Figura 4: Taxa de crescimento populacional anual global



Fonte: (HOTAKAINEN, 2011)

Encontrar novas formas de cogeração de energia, seja de fontes combustíveis e de fontes renováveis, é de grande importância para os problemas causados pelo crescimento populacional (Hotakainen e Klimstra, 2011). A Figura 5 mostra a taxa de crescimento aproximado anual em porcentagem por país.

Figura 5: Taxa de crescimento anual em porcentagem



Fonte: (HOTAKAINEN, 2011)

Já no âmbito da elevação do padrão de vida geral, Hotakainen e Klimstra (2011) destaca o contínuo desenvolvimento dos países emergentes que, conseqüentemente, aumenta a demanda de energia. Padrões de vida mais altos, que também acarreta maior nível educacional, podem trazer uma redução no crescimento populacional, mas também exigem novas demandas na produção de eletricidade devido ao aumento de bens dependentes de eletricidade. Os países cuja demanda tende a crescer devem ajustar sua produção de energia e eletricidade a este padrão de vida levando em consideração as condições locais. Esta é a única forma de obter sucesso nesse quesito de forma sustentável, aceitável e benéfico. A Figura 6 mostra o consumo de eletricidade doméstica mundial em milhões de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep).

Figura 6: Consumo de eletricidade doméstica



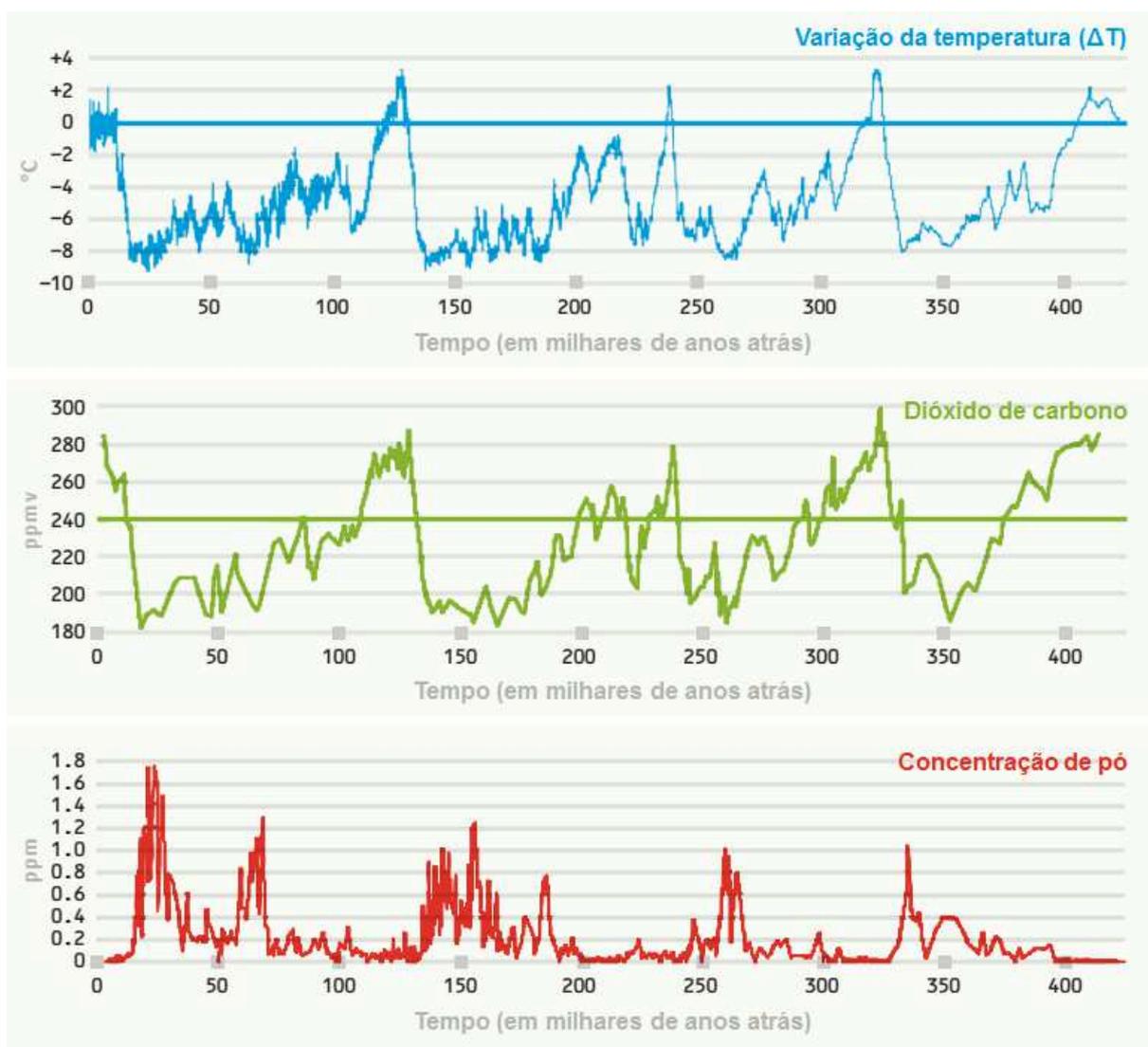
Fonte: (HOTAKAINEN, 2011)

Na questão climática, Hotakainen e Klimstra (2011) ressalta que, apesar de o clima sempre ter se alterado, a maior preocupação se deve à velocidade em que isto está avançando. Apesar de ainda haver muita incredulidade neste assunto, quanto mais cedo a humanidade aceita-lo como um problema real e tomar providências para remedia-lo, atrasa-lo e se adaptar às conseqüências, maiores são as chances de evitar uma catástrofe climática no futuro.

O crescimento na absorção e emissão de radiação infravermelha na atmosfera, causado pelo excesso de CO₂, tem agravado o efeito estufa, que gera mais calor na

superfície terrestre. A maior fonte de CO₂ está no uso de combustíveis fósseis, que, apesar de não serem inesgotáveis, são suficientes para danificar a atmosfera (Hotakainen e Klimstra, 2011). Como é possível observar na Figura 7, a variação de temperatura está diretamente relacionada à concentração de dióxido de carbono na atmosfera.

Figura 7: Variações de CO₂, temperatura e concentração de pó em um núcleo de gelo Antártico durante os últimos 450 mil anos



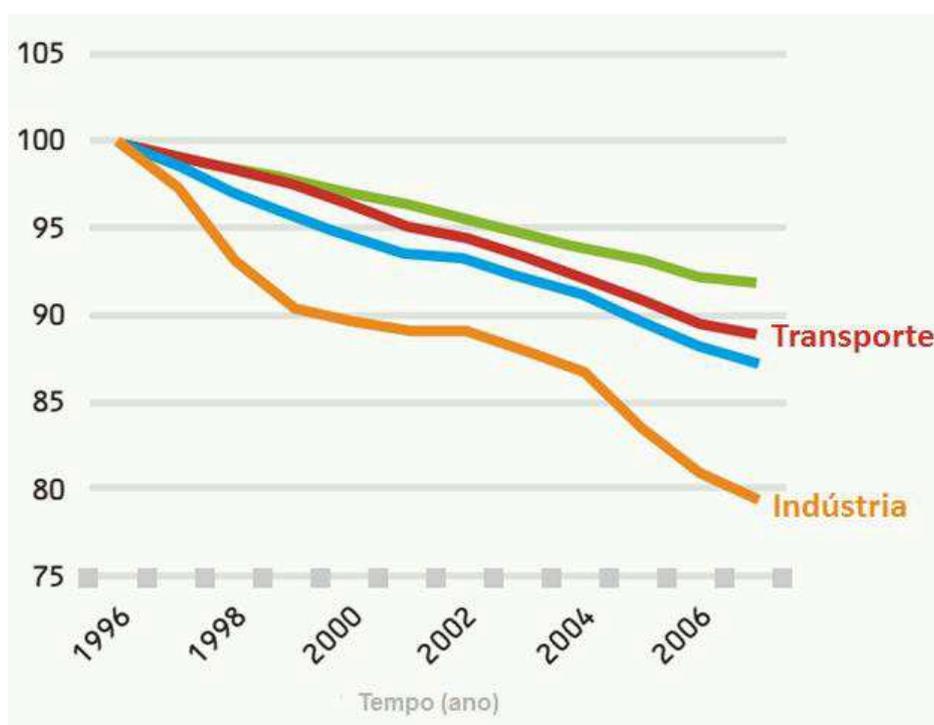
Fonte: (HOTAKAINEN, 2011)

Hotakainen e Klimstra (2011) também cita o aumento na importância da energia elétrica, o que leva à sua demanda crescente, e da eficiência energética. Em geral, é possível realizar a armazenagem de energia, porém não é muito eficiente para longos períodos ou em larga escala, conforme as necessidades da sociedade atual. A

utilização de fontes não renováveis tende a não ser viável em um futuro próximo devido à sua tendência de aumento de custo causado pela dificuldade de extração e taxaço pela sua utilização. Também se afirma que há um limite para várias fontes de energia renováveis e não combustíveis, como a energia hidráulica em países onde a água é escassa, por exemplo. Mas não há uma solução rápida para estes problemas, pois não basta apenas aumentar a produção de energia exponencialmente devido aos limites tecnológicos, econômicos e patrimoniais. O aumento na eficiência do uso de energia contribui para a redução desses problemas, já houve muito avanço neste aspecto. Eficiência e conservação energética colaboram para uma menor dependência por eletricidade e por combustíveis fósseis, o que traria menos prejuízo ambiental, como as mudanças climáticas e o aquecimento global.

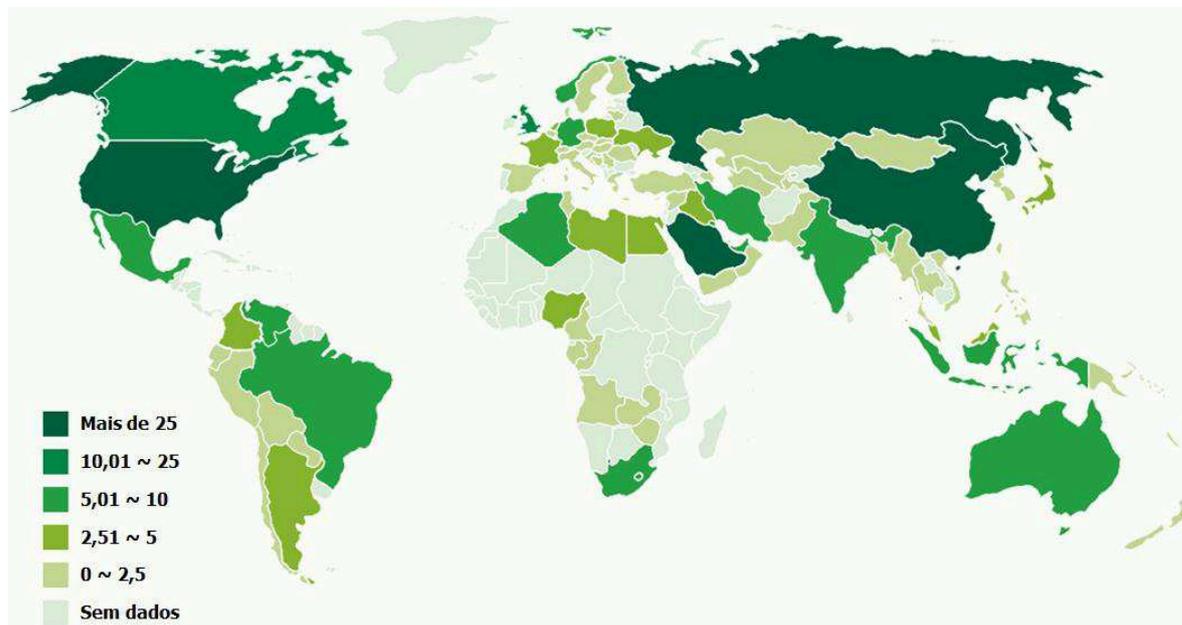
Na Figura 8, é possível observar o progresso de eficiência energética na Europa (EU-27), que teve um aperfeiçoamento em torno de 13% entre 1996 e 2007, o que corresponde a 160 Mtep de economia energética no ano de 2007.

Figura 8: Processo de eficiência energética na Europa 1996~2007



Fonte: (HOTAKAINEN, 2011)

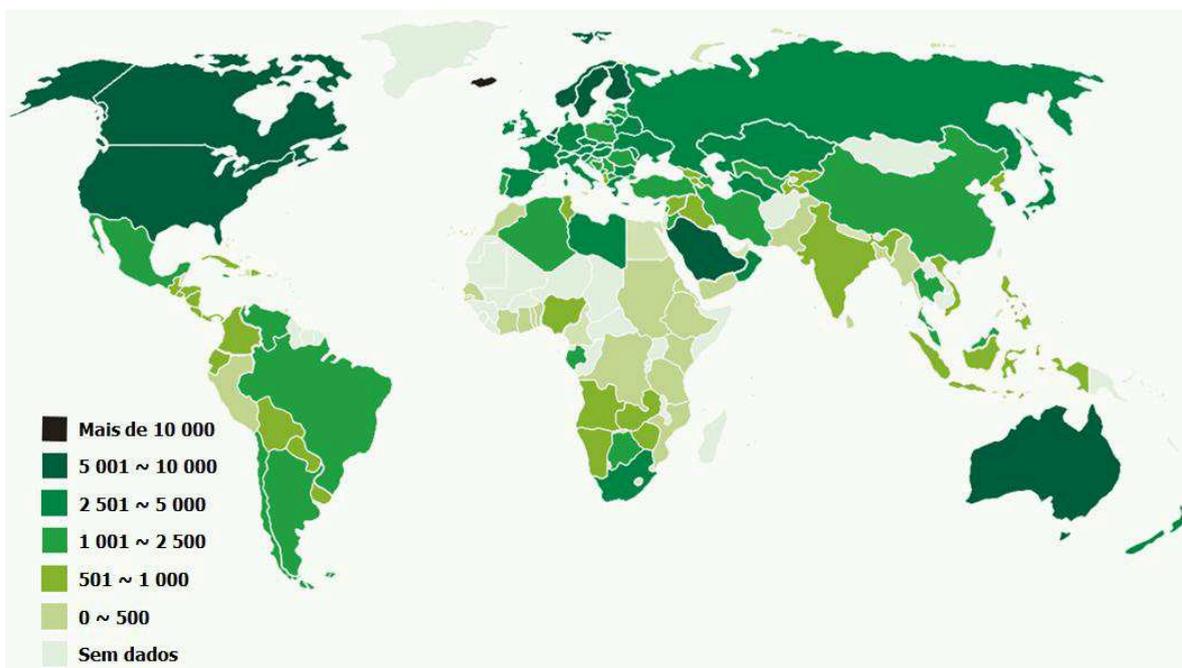
Na Figura 9, é demonstrada a produção de energia no mundo entre os anos de 1989 e 1999. Dados expressos em 10^{15} Btu (*British thermal unit*; 1 Btu equivale a 1.055,06 joules).

Figura 9: Produção mundial de energia 1989~1999 (10^{15} Btu)

Fonte: (HOTAKAINEN, 2011)

Na Figura 10, são exibidos os dados mundiais de consumo de energia per capita em 2003 em quilos equivalentes de petróleo.

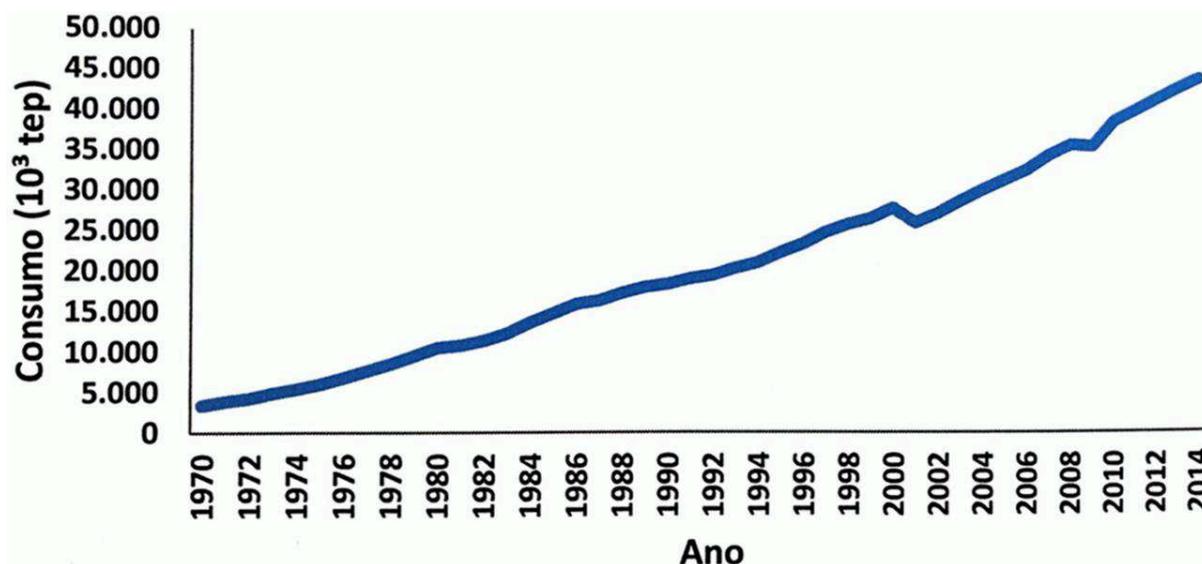
Figura 10: Energia mundial consumida per capita 2003 (quilos equivalentes de petróleo)



Fonte: (HOTAKAINEN, 2011)

Santos (2017) complementa com a declaração de que o progresso da tecnologia será um grande impulso de alteração de vários aspectos do mundo. Algumas dessas tecnologias podem mudar por inteiro uma sociedade com impactos perceptíveis. Na Figura 11, é possível notar o crescimento do consumo de energia elétrica entre os anos de 1970 até 2014.

Figura 11: Evolução do consumo de Energia Elétrica



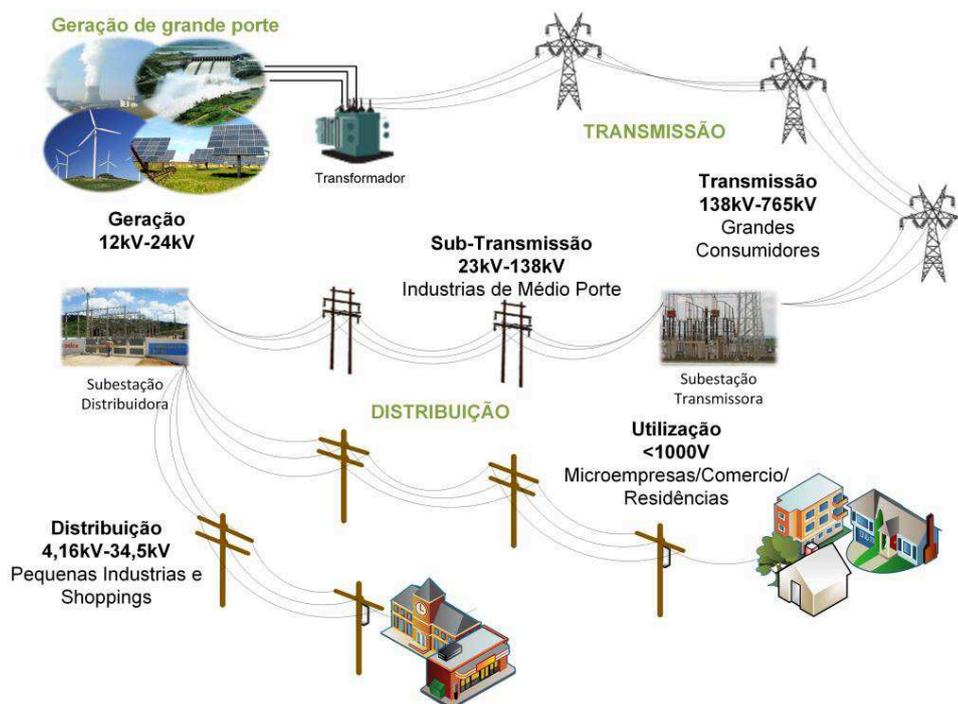
Fonte: (SANTOS, 2017)

De acordo com Yu (2011), há um desafio em integrar grande parte das fontes de energia renovável na infraestrutura de transmissão porque a maior parte dessa classe de geração é intermitente na natureza, ou seja, não está fixa em apenas um lugar específico de onde seria possível fazer grandes extrações de energia. A integração de fontes de energias renováveis distribuídas tem grandes impactos na operação das redes e demanda nova estrutura para sua aplicação. O impulso principal é o desenvolvimento de *Smart Grids*, que monitora, protege e otimiza a operação de seus elementos interconectados de ponta a ponta com um fluxo bidirecional de eletricidade e informação para criar uma distribuição automatizada de energia.

Segundo Santos (2017), a geração distribuída é determinada por meio de instalações de geradores de pequeno porte, normalmente utilizados através de fontes renováveis ou por combustíveis fósseis próximos aos consumidores, o que possibilita maior eficiência no abastecimento de energia elétrica. Esse sistema de geração aponta vantagens ambientais, técnicas e econômicas, como a redução de emissão de gases causadores do efeito estufa; maior utilização de fontes de energia renováveis;

melhoria na qualidade da energia; redução de perdas; maior eficiência energética; menor custo de transmissão; economia no uso de combustíveis; produção em pequena escala; maior facilidade em atender ao aumento da demanda; entre outras. Na Figura 12, é possível comparar a geração de energia convencional à distribuída.

Figura 12: Comparação entre geração convencional e geração distribuída



(a) Geração de energia de forma convencional [Lopes et al. 2012].



(b) Geração Distribuída.

Fonte: (LOPES, 2015)

Santos (2017) menciona a cogeração como o processo onde são geradas duas formas de energia ao mesmo tempo, o exemplo mais comum é a cogeração de

energia elétrica e energia térmica. Os sistemas de cogeração revelam altos rendimentos se confrontados com os sistemas independentes de potência e calor, trazendo um aumento de aproximadamente 70% a 90%. Esses sistemas têm alguns benefícios como o aumento da confiabilidade do sistema; redução do impacto ambiental; diminuição de perdas nas redes; e atenuação nos custos operacionais.

Santos (2017) refere-se às *Smart Grids* como uma tecnologia que engloba o monitoramento, armazenamento, controle e comunicação entre usuários e fornecedores para melhor utilização dos recursos disponíveis, além de possibilitar o progresso tecnológico da rede.

“Um dos principais benefícios de *Smart Grids* é a possibilidade de se integrar fontes renováveis e armazenar energia, sendo que através da informatização das redes é possível uma combinação para se ter energia centralizada e distribuída.” (SANTOS, 2017, p. 55).

Santos (2017) aponta algumas vantagens da *Smart Grid*, como eficiência nos serviços a um custo mais baixo; integração da geração, transmissão e distribuição, possibilitando a função mais próxima à ideal; solução de problemas de forma mais ágil; troca de informações em tempo real; maior qualidade da energia; redução do consumo energético; diminuição de perdas; maior eficiência; maior competição mercantil entre concessionárias; entre outras.

Technology (2011) complementa que a complexidade dos sistemas elétricos dificulta a implementação de *Smart Grids* em uma escala que seria ideal e necessária. Para determinar soluções de *Smart Grid*, deve haver iniciativa de governos, setores privados, consumidores e grupos de defesa ambiental para definir as necessidades do sistema elétrico para tal iniciativa. As *Smart Grids* já são uma realidade, porém é uma tecnologia de evolução gradual, ou seja, não é possível aplicá-la em um curto período. Apesar disso, instalações em larga escala são urgentemente necessárias para determinar soluções que podem ser implantadas em sistemas completos já existentes.

Martins (2013) mostra o Projeto InovCity com status de execução e principais aprendizados para o futuro das *Smart Grids* no Brasil, liderado pela empresa EDP Bandeirante em parceria com a secretaria de Energia de São Paulo e a Prefeitura de Aparecida (SP), onde será implantada. As *Smart Grids* vão viabilizar a alteração do setor. Na Figura 13, é ilustrado as mudanças no sistema de distribuição levando em consideração a nova tecnologia comparada com o “Velho Setor”.

Figura 13: Alterações no Sistema de Distribuição, Velho Setor contra Novo Setor

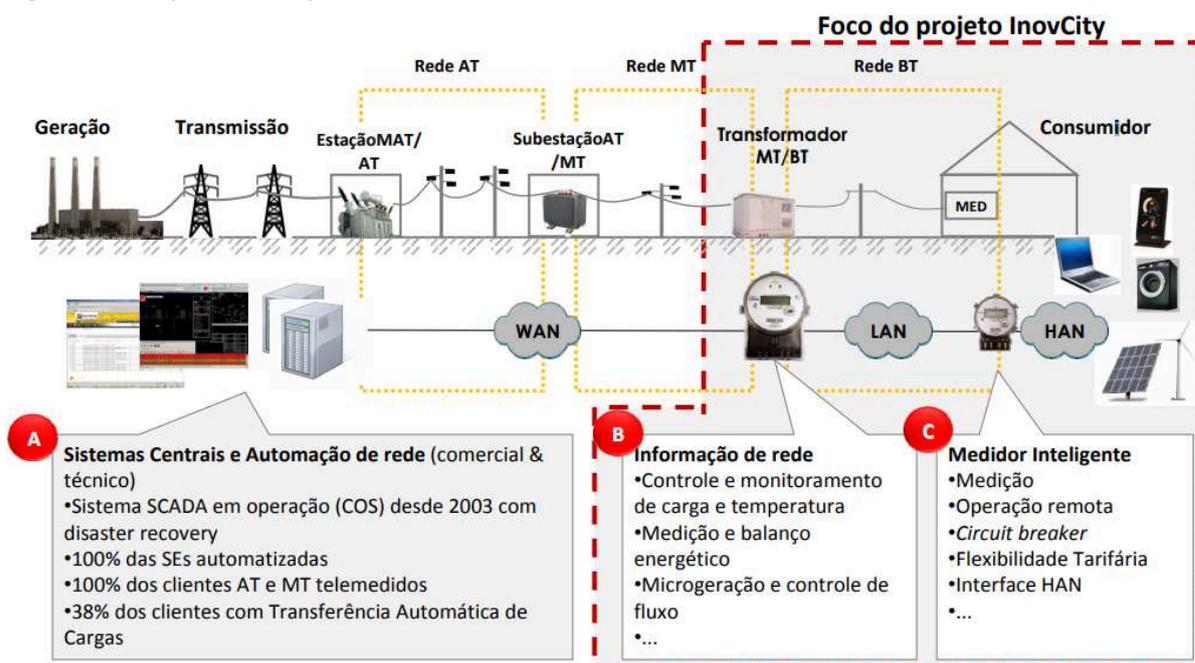


Fonte: (MARTINS, 2011)

Esse projeto tem como objetivo transformar a cidade de Aparecida, localizada no Vale do Paraíba, com soluções inovadoras. Vale ressaltar que o projeto utiliza a tecnologia e conhecimentos sobre a inovação no desenvolvimento para aplicar em ações sociais envolvendo a comunidade, e também disponibilizando o conteúdo para as escolas da rede de ensino público, com professores capacitados, kits escolares, palestras, entre outros.

O Grupo EDP tem várias soluções de *Smart Grid*, a Figura 14 demonstra exatamente o foco do projeto InovCity.

Figura 14: Projeto InovCity



Fonte: (MARTINS, 2011)

Outro exemplo de aplicação da tecnologia em São Paulo, citada por Vellano (2013), é o “Programa das *Smart Grids* da AES Eletropaulo”. As motivações para implantação desse programa são: melhorar a qualidade dos serviços prestados, reduzir perdas comerciais, reduzir custos operacional, otimizar os investimentos na rede elétrica, melhorar a gestão e comunicação direta ao cliente promovendo a eficiência energética. Na Figura 15, observa-se que as regiões escolhidas para a aplicação do projeto, que são elas Barueri, área metropolitana com alta densidade de carga, consumo alto, rede elétrica com alimentadores curtos e malhas, e a Região de Vargem Grande, área rural, com circuitos de rede elétrica longos com alimentadores isolados, portanto o projeto foi de primeiro momento designado a duas áreas com diferentes aspectos.

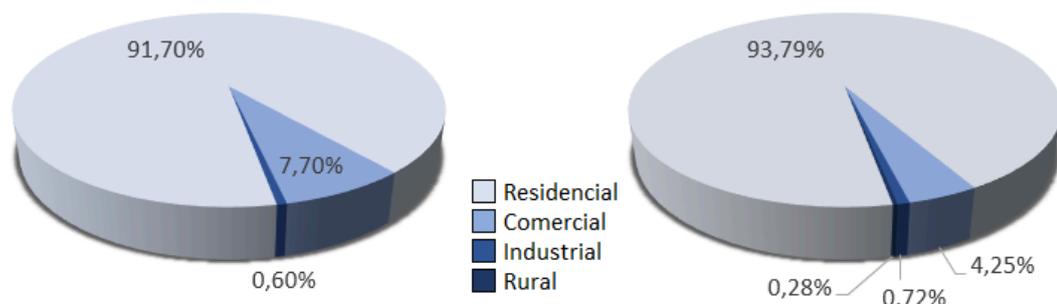
Figura 15: Cenário Escolhido – Abrangência do Projeto

Barueri - Execução do Projeto Completo/ Prova de Conceito *Smart Grid*

- 62.000 Clientes
- Consumo anual - 1.208.232 MWh
- 304 Km de rede primária

Vargem Grande + Caucaia do Alto Self Healing e localização de faltas

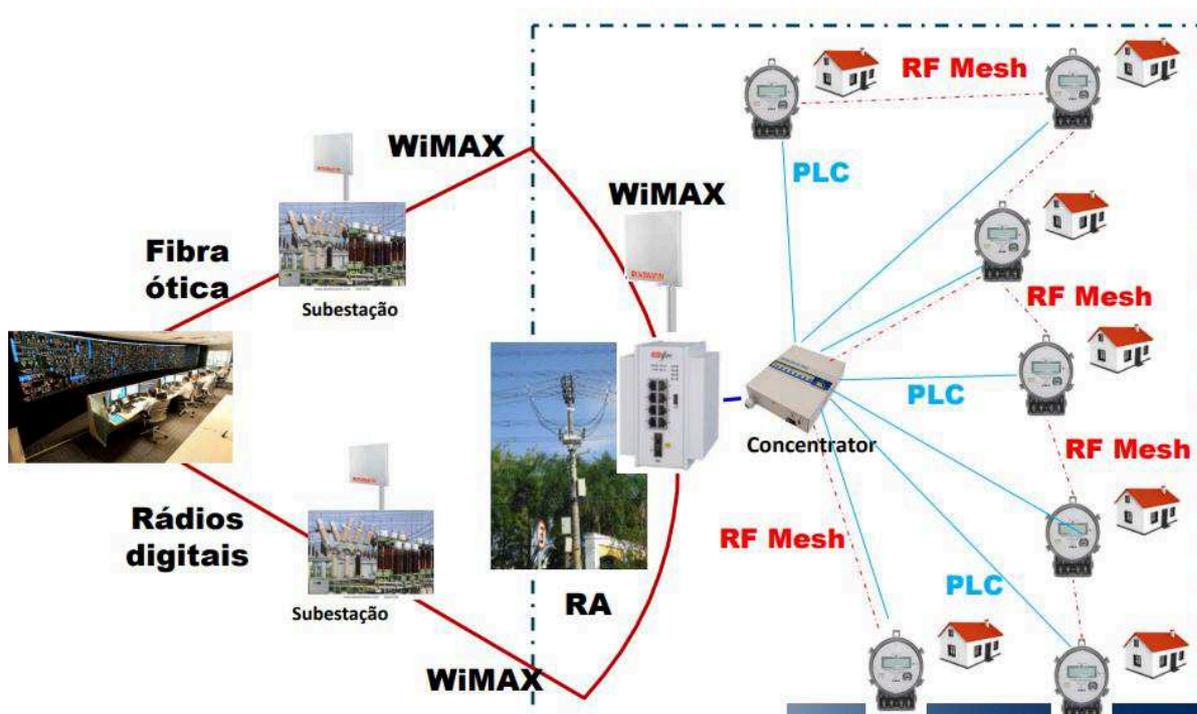
- 32.289 Clientes
- Consumo anual - 178.573 MWh
- 374 Km de rede primária



Fonte: (VELLANO, 2013)

Sobre a topologia de comunicações do Projeto “A Energia das Metrôpoles do Futuro” do Programa de *Smart Grids* da AES Eletropaulo, considera-se a estrutura apresentada na Figura 16.

Figura 16: Topologia de Comunicações



Fonte: (VELLANO, 2013)

Agora, na cidade de Curitiba, Pedretti (2014) compartilha o projeto “Paraná *Smart Grid*”, liderada pela COPEL, o Paraná *Smart Grid* integra o programa Smart Energy Paraná, criado pelo governo do Paraná em setembro de 2013 para estimular a geração distribuída por fontes renováveis.

Em Minas Gerais, também haverá aplicações segundo a Cemig, empresa que comanda o projeto “Cidades do Futuro”, que pretende executar todas as inclinações de valores das *Smart Grids*, telecomunicações, sistemas computacionais, interface com consumidores e destruição de geradores nas cidades escolhidas para implantação.

2 SMART GRID

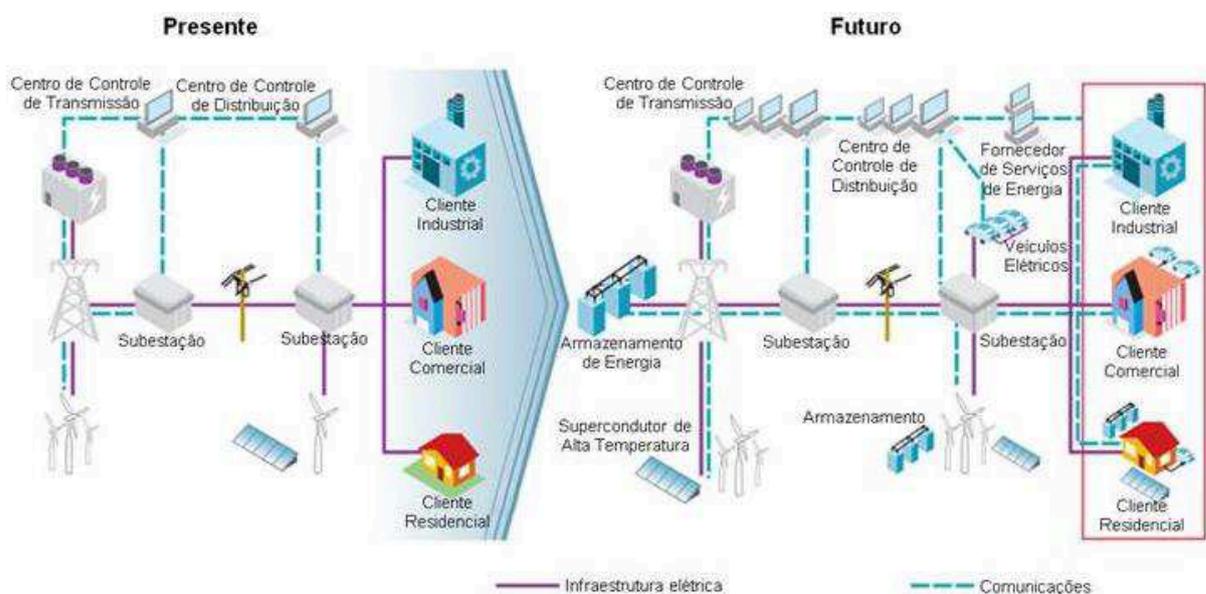
A linha de transmissão elétrica atual foi concebida há mais de 1.200 anos, quando as necessidades de energia eram rudimentares. A maioria dos lares possuía pequenas demandas de energia, como algumas lâmpadas e um rádio. A linha foi projetada de forma que as concessionárias fornecessem eletricidade para as casas dos consumidores e cobrassem uma vez por mês. Esta interação limitada, de sentido único, dificulta o processo de resposta da rede às mudanças de demandas e aumento de energia do século XXI. A rede inteligente apresenta uma comunicação nos dois sentidos, onde a eletricidade e as informações podem ser trocadas entre a concessionária e seus clientes. É uma rede de desenvolvimento de comunicações, controles, computadores, automação e novas tecnologias e ferramentas que trabalham em conjunto para tornar a rede mais eficiente, mais confiável, mais segura e mais ecológica. A *Smart Grid* permite a melhor integração de tecnologias mais novas, como a produção de energia eólica e solar e o carregamento de veículos elétricos. Prevê-se que a *Smart Grid* irá substituir a infraestrutura atual para que os serviços públicos possam se comunicar melhor com seus consumidores e, assim, ajudar a gerenciar as necessidades de eletricidade.

Uma *Smart Grid* é uma rede elétrica que usa tecnologias digitais e outros avanços para monitorar e gerenciar a distribuição de eletricidade de todas as fontes de geração para atender às diversas demandas de eletricidade dos usuários finais. As redes inteligentes coordenam as necessidades e capacidades de todos os geradores, operadores de rede, usuários finais e partes interessadas no mercado de eletricidade para operar todas as partes do sistema da forma mais eficiente possível, minimizando custos e impactos ambientais ao mesmo tempo em que maximiza a confiabilidade, a resiliência e a estabilidade do sistema. (*TECHNOLOGY...* 2011)

Incluem redes de eletricidade (sistemas de transmissão e distribuição) e interfaces com geração, armazenamento e usuários finais. Embora muitas regiões já tenham começado a aprimorar seu sistema elétrico, todas as regiões exigem investimentos e planejamento adicionais significativos para alcançar uma rede mais inteligente. As *Smart Grids* são um conjunto evolutivo de tecnologias que serão implantadas em diferentes taxas em uma variedade de configurações ao redor do mundo, dependendo da atratividade comercial local, compatibilidade com tecnologias

existentes, desenvolvimentos regulatórios e estruturas de investimento. A Figura 17 demonstra o caráter evolutivo das redes inteligentes. (TECHNOLOGY... 2011)

Figura 17: Sistemas mais inteligentes de eletricidade



Fonte: (TECHNOLOGY... 2011)

A tecnologia digital que permite a comunicação bidirecional entre a concessionária e seus clientes e a percepção ao longo das linhas de transmissão é o que torna a rede inteligente. Como a Internet, a *Smart Grid* consistirá em controles, computadores, automação e novas tecnologias e equipamentos trabalhando em conjunto, mas neste caso, essas tecnologias funcionarão com a rede elétrica para responder digitalmente à nossa demanda que sempre se altera muito rapidamente.

A primeira definição de *Smart Grid* foi determinada pela *Energy Independence and Security Act* de 2007 (EISA-2007), que foi aprovada pelo congresso estadunidense em janeiro de 2007, e consiste em 10 características:

- I. Aumento do uso da tecnologia digital de informações e controles para melhorar a confiabilidade, segurança e eficiência da rede elétrica.
- II. Melhoria dinâmica de operações e recursos da rede, com total cibersegurança.
- III. Implantação e integração de recursos e geração distribuídos, incluindo recursos renováveis.
- IV. Desenvolvimento e incorporação de resposta à demanda, recursos do lado da demanda e recursos de eficiência energética.
- V. Implantação de tecnologias "inteligentes" (tecnologias em tempo real, automatizadas e interativas que aperfeiçoam a operação física de aparelhos e dispositivos de consumo) para medição, comunicações relativas a operações e status da rede e automação de distribuição.
- VI. Integração de aparelhos "inteligentes" e dispositivos de consumo.

VII. Implantação e integração de tecnologias avançadas de armazenamento de eletricidade e restrição de pico, incluindo veículos elétricos e híbridos, e ar condicionado de armazenamento térmico.

VIII. Proporcionar aos consumidores informações oportunas e opções de controle.

IX. Desenvolvimento de padrões de comunicação e interoperabilidade de aparelhos e equipamentos conectados à rede elétrica, incluindo a infraestrutura que atende a rede.

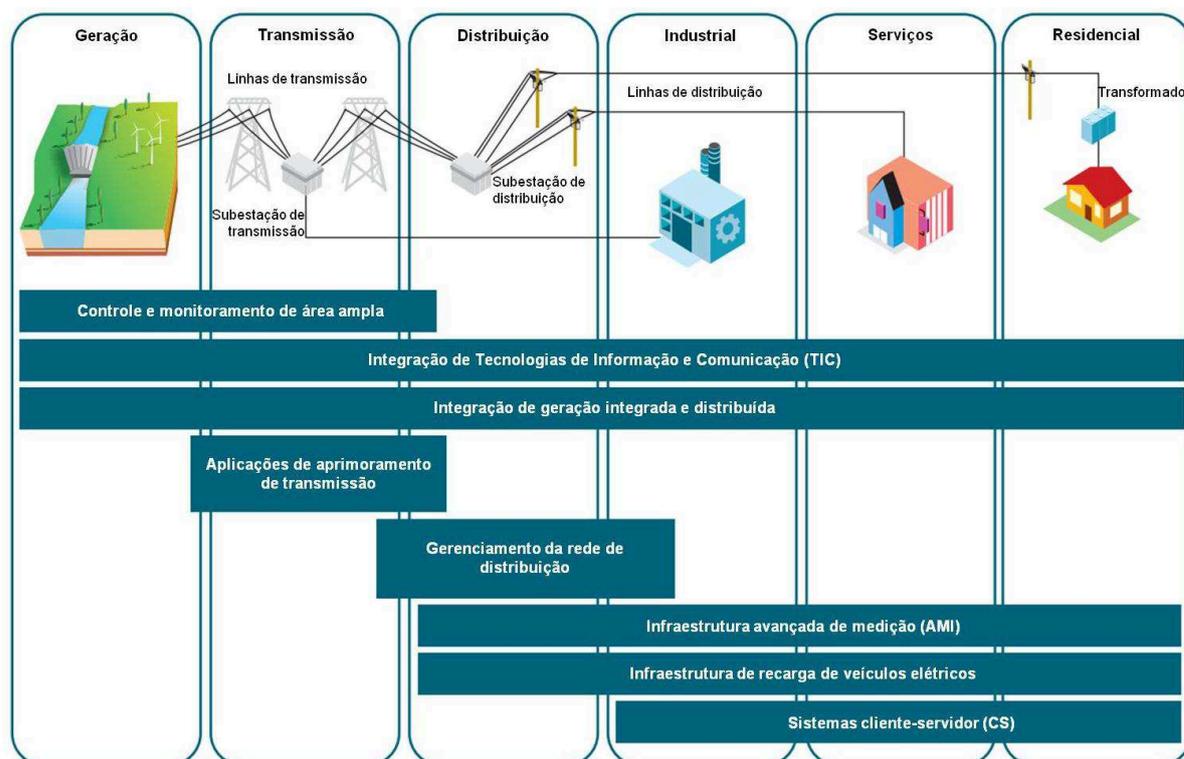
X. Identificação e redução de barreiras não razoáveis ou desnecessárias à adoção de tecnologias, práticas e serviços de rede inteligentes". (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 2007, p. 292-293)

As tecnologias de rede inteligentes surgiram das tentativas de utilização de controle eletrônico, medição e monitoramento. Nos anos 1980, a leitura automática de medição foi utilizada para monitorar cargas de grandes consumidores e evoluiu para a Estrutura Avançada de Medição dos anos 1990, cujos medidores poderiam memorizar como a eletricidade foi utilizada em diferentes horas do dia. No início de 2000, o Projeto Telegestore da Itália foi o primeiro a conectar grandes números (27 milhões) de casas utilizando medidores inteligentes conectados à linha de força de comunicação via baixa largura de banda.

Por vezes, chamada de “a internet da energia”, “eletricidade com cérebro” e “uma rede modernizada que permite fluxo bidirecional de energia e usa comunicação de duas vias e controla a capacidade que levará a uma matriz de novas funcionalidades e aplicações”.

2.1 COMPONENTES TECNOLÓGICOS DA *SMART GRID*

A rede de distribuição inteligente disponibiliza recursos tecnológicos para auxiliar o atendimento à demanda energética em uma região de acordo com a capacidade de geração desta. Ela atende desde a geração até a transmissão e da distribuição até os consumidores finais. Na Figura 18, são apresentados conjuntos de tecnologias que determinam uma *Smart Grid*. Para tornar uma rede padrão em uma *Smart*, não é requisito obrigatório instalar todas as tecnologias que serão retratadas a seguir.

Figura 18: Áreas da tecnologia *Smart Grid*

Fonte: (TECHNOLOGY... 2011)

2.1.1 Controle e monitoramento

Monitora e exhibe em tempo real o desempenho de componentes do sistema de potência, através de interconexões e em grandes áreas geográficas, ajudando os operadores de sistemas a entender e aperfeiçoar os componentes do sistema de energia, seu comportamento e desempenho. As ferramentas avançadas de operação do sistema evitam os apagões e facilitam a integração de recursos variáveis de energia renovável. (TECHNOLOGY... 2011)

2.1.2 Tecnologias de informação e comunicação (TIC)

Juntamente com dispositivos de comunicação e computação, as infraestruturas básicas de comunicabilidade suportam transmissão em atraso ou tempo real de dados, a troca de informação de duas vias entre intervenientes e disponibiliza maior eficiência no uso e gerenciamento da rede. (TECHNOLOGY... 2011)

2.1.3 Geração integrada e distribuída

As *Smart Grids* cooperam na automação e controle de geração e demanda de energia elétrica, integrando fontes de energia renováveis e distribuídas, para garantir o balanceamento. (*TECHNOLOGY...* 2011)

2.1.4 Aprimoramento de transmissão

Diversas tecnologias podem ser implementadas para aumentar o domínio de redes de transmissão e a capacidade de transferência de energia; diminuir as perdas no sistema; permitir o uso eficiente de fontes de energia; identificar a capacidade de transporte de corrente de uma seção da rede em tempo real; aperfeiçoar a utilização de ativos de transmissão existentes sem causar sobrecarga. Como os Sistemas de Transmissão Flexível em Corrente Alternada (*FACTS*); Tecnologias de Alta Tensão DC (*HVDC*); *Dynamic Line Rating (DLR)* e supercondutores de alta temperatura (*HTS*). (*TECHNOLOGY...* 2011)

2.1.5 Gerenciamento da rede de distribuição

Reduz o tempo de interrupções e reparos, mantém o nível de tensão, melhora o gerenciamento de ativos, processa informações dos sensores e medidores em tempo real para localização de falhas, reconfiguração automática dos alimentadores, otimização de potência reativa e tensão, controle de geração distribuída, manutenção de componentes da rede, aprimoramento da performance de equipamentos e, conseqüentemente, utilização efetiva de ativos. (*TECHNOLOGY...* 2011)

2.1.6 Infraestrutura avançada de medição (AMI)

Envolve a implantação de uma série de tecnologias - além de medidores avançados ou inteligentes (O *European Smart Meters Industry Group (ESMIG)* define quatro funcionalidades mínimas de um medidor inteligente: leitura remota, comunicação bidirecional, suporte para sistemas avançados de tarifas e pagamentos e desativação remota e habilitação de fornecimento), que permitem o fluxo bidirecional de informações, fornecendo aos clientes e utilitários dados sobre o preço e consumo

de eletricidade, incluindo o tempo e a quantidade de eletricidade consumida. (*TECHNOLOGY...* 2011)

2.1.7 Infraestrutura de recarga de veículos elétricos

Administra o faturamento, agendamento e outros recursos inteligentes para o carregamento inteligente durante a alta demanda de energia. (*TECHNOLOGY...* 2011)

2.1.8 Sistemas cliente-servidor (CS)

Usados para ajudar a gerenciar o consumo de eletricidade industrial, de serviço e residencial. Incluem sistemas de gerenciamento de energia, dispositivos de armazenamento de energia, aparelhos inteligentes e geração distribuída. A resposta à demanda inclui tanto a resposta manual do cliente quanto os aparelhos automatizados. (*TECHNOLOGY...* 2011)

2.2 CARACTERÍSTICAS

No quesito confiabilidade, o sistema de *Smart Grid* faz uso de tecnologias que melhoram a detecção de falhas e permite o auto reparo da rede sem a intervenção de técnicos. Isso garante o fornecimento de eletricidade mais confiável e reduz a vulnerabilidade a desastres naturais ou ataques.

Apesar de o símbolo da *Smart Grid* ser a possibilidade de obter várias vias, a rede convencional de distribuição também disponibiliza múltiplas vias. O grande problema desta disposição é que se houver excedência dos limites de corrente, ou efeitos relacionados em qualquer elemento da rede, esta pode falhar e a corrente será desviada para os outros elementos da rede, que eventualmente podem também falhar, causando um efeito dominó.

Ela oferece flexibilidade, que é a capacidade de um sistema de energia para manter o fornecimento confiável, modificando a produção ou o consumo em face de desequilíbrios rápidos e grandes, como flutuações imprevisíveis na demanda ou na geração variável. O termo flexibilidade é usado aqui para incluir geração de eletricidade, transporte, armazenamento, comércio e consumo de uso final.

Em questão de eficiência, a *Smart Grid* aplica tecnologias para otimizar o uso de seus ativos. Por exemplo, em classificações dinâmicas, que permitem que as redes em uso sejam utilizadas em cargas maiores, detectando e classificando constantemente suas capacidades.

Os dispositivos podem ser ajustados para reduzir as perdas e eliminar o congestionamento. É realizada a seleção do sistema de entrega de energia de menor custo através desses tipos de dispositivos de controle do sistema. Além de tudo, o aproveitamento na distribuição de energia vai permitir que menos energia seja consumida da concessionária, porém com alto nível de qualidade. (*TECHNOLOGY...* 2011)

Os custos de recursos especiais de qualidade de energia podem ser incluídos no contrato de serviço. Os métodos avançados de controle monitoram componentes essenciais, permitindo diagnóstico rápido e soluções para eventos que afetam a qualidade da energia, como relâmpagos, sobretensões, falhas de linha e harmônicas. (*TECHNOLOGY...* 2011)

Os consumidores ajudam a equilibrar a oferta e a demanda e a garantir a confiabilidade, modificando a maneira como eles usam e compram eletricidade. Essas modificações vêm como resultado de consumidores tendo escolhas que motivam diferentes padrões de compra e comportamento. Essas escolhas envolvem novas tecnologias, novas informações sobre o uso de eletricidade e novas formas de preços e incentivos. (*TECHNOLOGY...* 2011)

A alta flexibilidade da *Smart Grid* permite uma maior integração de fontes de energia renováveis variáveis, como energia solar e energia eólica, mesmo sem o armazenamento de energia. A infraestrutura de rede atual não foi construída para permitir muitos pontos de alimentação distribuídos e, normalmente, mesmo se alguma alimentação for inserida na distribuição, a infraestrutura da transmissão não é capaz de acondicioná-la. As flutuações rápidas na geração distribuída, como aquelas causadas pelo clima nublado ou pelas chuvas, apresentam desafios significativos devido à necessidade de garantir níveis de potência estáveis através da variação da produção dos geradores mais controláveis, como turbinas a gás e geradores hidrelétricos. (*TECHNOLOGY...* 2011)

Os mercados corretamente projetados e operados criam uma oportunidade eficiente para que os consumidores escolham entre os serviços. Algumas das variáveis de redes independentes que devem ser gerenciadas são: energia,

capacidade, localização, tempo, taxa de mudança e qualidade. Os mercados podem desempenhar um papel importante na gestão dessas variáveis. Reguladores, proprietários, operadores e consumidores precisam de flexibilidade para modificar as regras do contrato de acordo com as condições operacionais e de mercado. (*TECHNOLOGY...* 2011)

A invulnerabilidade refere-se à capacidade de um sistema de reagir a eventos inesperados, isolando elementos problemáticos enquanto o resto do sistema é restaurado para operação normal. Essas ações de auto reparo resultam em redução da interrupção do serviço para os consumidores e ajudam os prestadores de serviços a gerenciar melhor a infraestrutura de entrega. (*TECHNOLOGY...* 2011)

No âmbito da segurança, este sistema permite o monitoramento e antecipação de falhas antes que elas ocorram aplicando ação corretiva. Isso é possível graças aos sensores instalados por toda a extensão da rede. As redes inteligentes podem reduzir a propagação de interrupções e responderem mais rapidamente através de equipamentos automatizados.

As *Smart Grids* podem melhorar a confiabilidade e eficiência do sistema elétrico, mas o uso de novas tecnologias de comunicação e informação pode trazer vulnerabilidades que podem comprometer sua segurança, incluindo o potencial de ataques cibernéticos. Um estudo recente dos EUA engloba os seguintes resultados em relação à cibersegurança: aspectos regulatórios do sistema elétrico podem dificultar a segurança; serviços públicos estão focados na conformidade regulamentar em vez de uma segurança abrangente; consumidores não são adequadamente informados sobre os benefícios, custos e riscos associados aos sistemas de redes inteligentes; estão sendo incorporados recursos de segurança insuficientes; o setor elétrico não possui um mecanismo efetivo para compartilhar informações sobre segurança cibernética e métricas para avaliá-la. Isso confirma que a cibersegurança deve ser considerada como grande parte da estratégia de aplicação de redes inteligentes. (*TECHNOLOGY...* 2011)

2.3 APLICAÇÕES

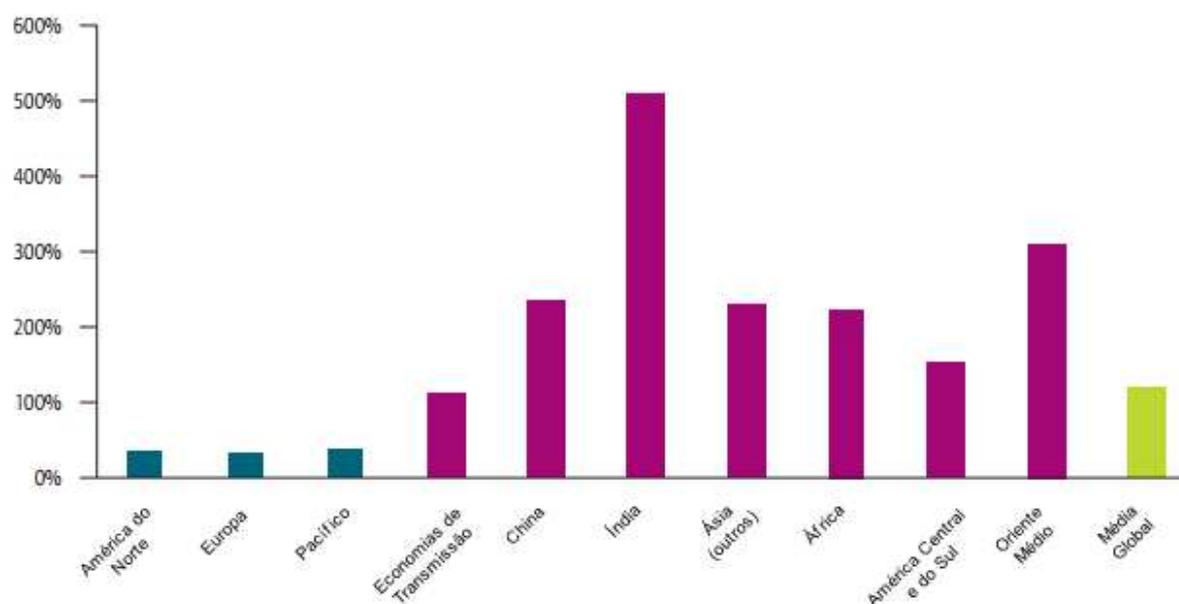
Neste item, serão abordadas todas as necessidades de aplicação da tecnologia e suas implementações no Brasil até atualmente.

2.3.1 Necessidades do sistema elétrico atual e futuramente

Ao longo das últimas décadas, a implantação de tecnologia de geração e rede, as estruturas de mercado e reguladoras, e o volume e uso de eletricidade mudaram significativamente. Esta transformação foi amplamente gerenciada com sucesso, mas o envelhecimento das infraestruturas significa que novas mudanças podem afetar a estabilidade, confiabilidade e segurança do sistema. (*TECHNOLOGY...* 2011)

As tecnologias de *Smart Grid* fornecem várias soluções que podem ser adaptadas às necessidades específicas de cada região. As principais tendências globais do sistema e o papel das *Smart Grids* são ilustrados na Figura 19. (*TECHNOLOGY...* 2011)

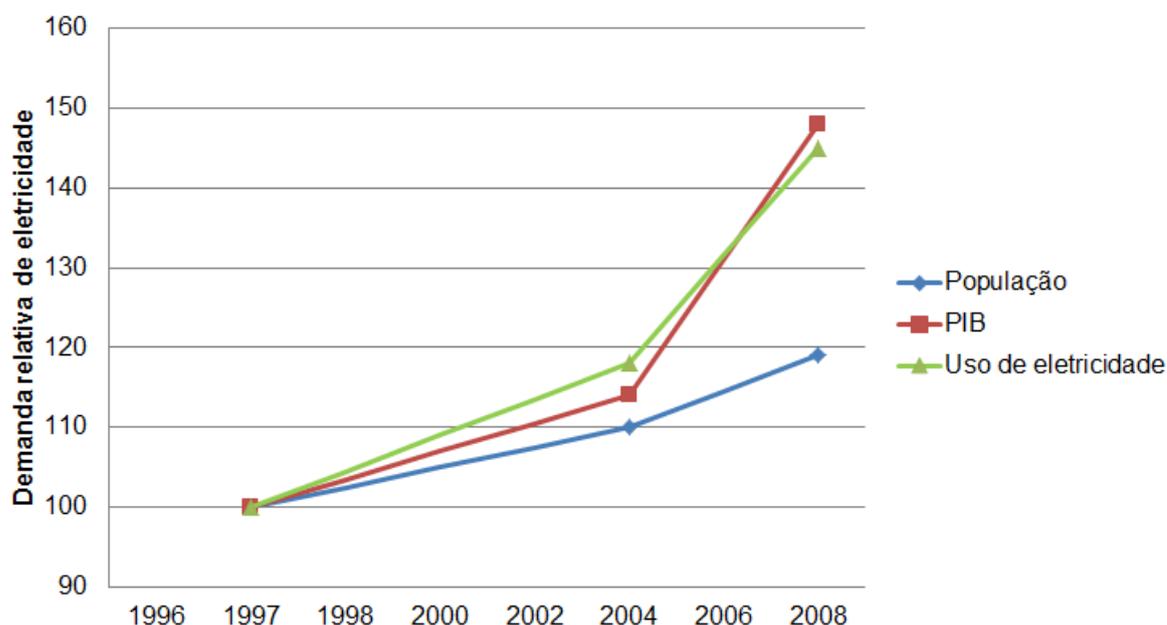
Figura 19: Crescimento do Consumo de Eletricidade 2007-2050



Fonte: (*TECHNOLOGY...* 2011)

Na Figura 20, é possível observar que o uso de eletricidade cresce de acordo com o crescimento do PIB, não necessariamente de acordo com o crescimento da população.

Figura 20: Aumento da demanda relativa de eletricidade em relação ao PIB de um país

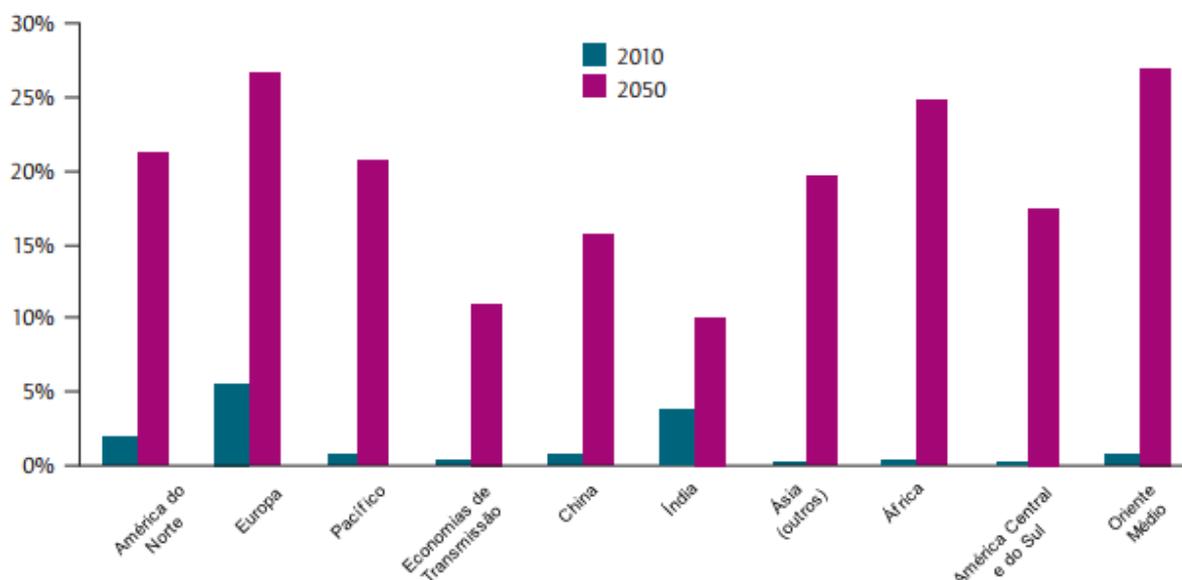


Fonte: (HOTAKAINEN; KLIMSTRA; OY, 2011)

2.3.2 Implantação de tecnologia de geração variável

Os esforços para reduzir as emissões de CO₂ relacionadas à geração de eletricidade e reduzir as importações de combustível levaram a um aumento significativo na implantação de tecnologia de geração variável. Este aumento deverá acelerar no futuro, com todas as regiões incorporando maiores quantidades de geração variável em seus sistemas elétricos, como é ilustrado na Figura 21. À medida que a taxa de crescimento da geração variável atinge níveis de 15% a 20% e, dependendo do sistema elétrico em questão, pode tornar-se cada vez mais difícil garantir o gerenciamento confiável e estável dos sistemas elétricos, responsabilizando arquiteturas de grades convencionais e flexibilidade limitada. As *Smart Grids* podem suportar uma maior implantação de tecnologias de geração variável, fornecendo informações em tempo real aos operadores de sistema, o que lhes permite o seu gerenciamento, a sua demanda e a sua qualidade de energia, aumentando assim a flexibilidade do sistema, mantendo a estabilidade e equilíbrio.

Figura 21: Geração de Eletricidade Variável por Região



Fonte: (*TECHNOLOGY...* 2011)

2.4 TECNOLOGIAS

Uma grande parte das tecnologias de redes inteligentes já é utilizada em outras aplicações, como, por exemplo, em telecomunicações e na indústria, e existem adaptações para uso em operações de rede.

Nas comunicações integradas, estão presentes: automação de subestações, automação de distribuição, resposta à demanda, controle de supervisão e aquisição de dados, sistemas de gerenciamento de energia, redes de malha sem fio e outras tecnologias, comunicações de linhas de rede elétrica e fibra óptica. As comunicações integradas viabilizam o controle e a troca de dados em tempo real para otimizar a confiabilidade, a utilização e a segurança do sistema. (YU et al., 2011)

Na detecção e medição, tem-se: avaliação do congestionamento e a estabilidade da grade, monitoração da saúde do equipamento, prevenção de roubo de energia, e suporte a estratégias de controle. As tecnologias incluem medidores avançados de microprocessador e equipamentos de leitura de medidores, sistemas de monitoramento de área, classificação de linha dinâmica (tipicamente com base em leituras online por sensores de temperatura distribuídos e combinados com sistemas de classificação térmica em tempo real), medição e análise de sinal eletromagnético, horário de uso e ferramentas de preços em tempo real, disjuntores e cabos

avançados, tecnologia de rádio de retro difusão e relés digitais de proteção. (BUEVICH et al., 2015)

No controle de fluxo de energia, os dispositivos de potência se prendem às linhas de transmissão existentes para controlar o fluxo de energia interno. As linhas de transmissão com tais dispositivos suportam maior uso de energia renovável, fornecendo controle mais consistente e em tempo real sobre como essa energia é determinada dentro da rede. Esta tecnologia permite que a rede armazene mais eficientemente a energia intermitente de fontes renováveis para uso posterior.

Além das aplicações de *Smart Grid* na transmissão, distribuição e consumo, também há aplicações de geração de energia inteligente utilizando componentes mais avançados. É apresentado um conceito onde múltiplos geradores idênticos operam de forma eficiente dependendo da carga escolhida e independentemente uns dos outros, assim é possível adequá-los à carga base e aos picos de demanda. (KLIMSTRA; HOTAKAINEN, 2011)

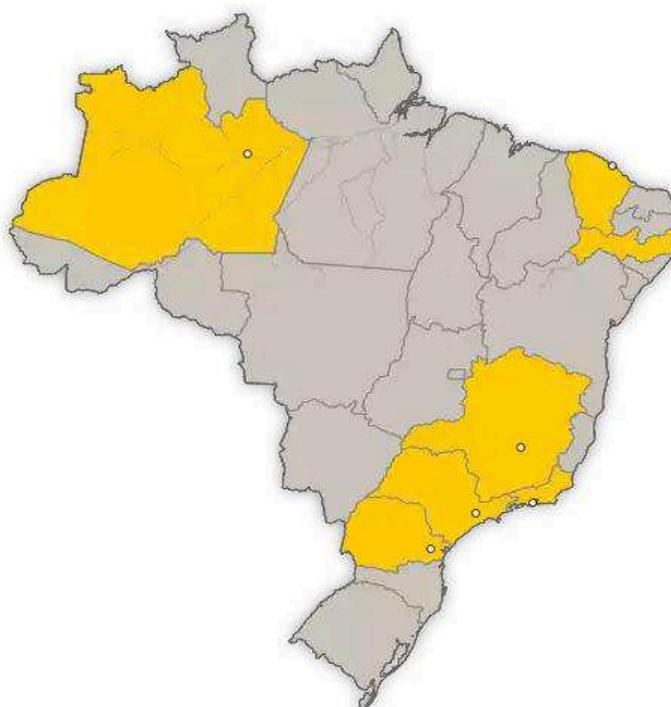
O balanceamento de carga é essencial para estabilidade e confiabilidade no fornecimento de energia, a curto prazo, os desvios no balanceamento podem levar a variações de frequência e, a longo prazo, resultam em apagões. São designados técnicos encarregados pelo balanceamento, que combinam a potência de saída dos geradores com a carga; esta tarefa torna-se desafiadora quando mais geradores intermitentes e variáveis, como os painéis fotovoltaicos e turbinas eólicas, são adicionados à rede, isso obriga os produtores de energia a adaptar sua geração constantemente. As duas primeiras usinas dinâmicas de estabilidade, que utilizam este conceito de balanceamento, foram incumbidas pela Elering e serão construídas por Wärtsilä em Kiisa, na Estônia, com objetivo de fornecer geração dinâmica para localizar quedas no fornecimento de eletricidade. Ativo desde 2014, sua produção atual é de 250 MW. (MAHLANEN, 2011)

A automação do sistema de energia permite um diagnóstico rápido e soluções precisas para interrupções específicas da grade. Essas tecnologias dependem e contribuem para cada uma das outras quatro áreas-chaves. Três categorias de tecnologia para métodos avançados de controle são: agentes inteligentes distribuídos (sistemas de controle), ferramentas analíticas (algoritmos de software e computadores de alta velocidade) e aplicações operacionais (SCADA, automação de subestações, resposta da demanda, etc.).

3 APLICAÇÕES

Neste capítulo, serão apresentados todos os projetos piloto de *Smart Grid* que estão sendo realizados no Brasil. Conforme mostra a Figura 22, os estados que deram iniciativa ao desenvolvimento de redes mais modernas são Amazonas, Ceará, Pernambuco, Minas Gerais, Rio de Janeiro, São Paulo e Paraná.

Figura 22: Projetos Piloto no Brasil



Fonte: (PROJETOS... 2017)

3.1 AMAZONAS

O Projeto Parintins (nome de uma ilha localizada a 369 km de Manaus), foi desenvolvido pela Eletrobrás e teve início em 2011. Nomeado como o primeiro grande projeto de implantação de *Smart Grid*, e, posteriormente, ganhando reconhecimento nacional através do concurso Projeto do ano de 2013 da PennWell do Brasil, empresa que atua em desenvolvimentos dos setores de geração e distribuição de energia. O município, em primeiro instante, foi dividido em áreas para instalações dos novos medidores digitais, equipamentos com redes e cabos multiplexados, com isso a Eletrobrás investiu mais de R\$ 23 milhões no projeto. (REIS, 2014)

3.2 CEARÁ

O Projeto da Primeira Cidade Inteligente Social visa o desenvolvimento econômico da região localizada em Croata, em São Gonçalo do Amarante no estado do Ceará. Nomeada como “Smart City Laguna”, conterà espaços para lotes residenciais, comerciais e um polo empresarial tecnológico. Desenvolvido com as soluções mais inteligentes em planejamento urbano, arquitetura, serviços, tecnologia da informação e projetos sociais, sendo definitivamente um projeto inteligente e inovador. (REGO, 2017)

3.3 PERNAMBUCO

Projeto para implantação de Redes inteligentes em Fernando de Noronha no estado de Pernambuco, tendo como objetivo devolver a tecnologia *Smart Grid* colocando recursos altamente tecnológicos para automação das redes de medição. A Companhia Energética de Pernambuco é a empresa responsável pelo projeto. (PROJETOS... 2017)

3.4 MINAS GERAIS

Liderada pela Empresa CEMIG, o projeto “Cidades do Futuro” é um dos programas que mais abrangem os conceitos da arquitetura *Smart Grid* no Brasil, em primeiro momento, as instalações estarão concentradas em Sete Lagoas, Santana de Pirapama, Santana do Riacho, Prudente de Moraes e Jequitibá. O Projeto tem como objetivos identificar a aceitação do consumidor em relação à nova tecnologia, validar a teoria dos produtos e serviços oferecidos pelo novo conceito da *Smart Grid* e também contribuir para o processo de desenvolvimento da concessionária em relação à implantação de redes inteligentes. (PROJETOS... 2017)

3.5 RIO DE JANEIRO

No estado do Rio de Janeiro, conta-se com dois grandes projetos: o “*Smart Grid Light*”, liderada pela empresa *LIGHT* Serviços de Eletricidade S.A., e o projeto da “Cidade Inteligente Búzios”, tendo como empresa responsável a Ampla Energia e

Serviços S.A. Os projetos têm como objetivos contribuir para os limites estipulados de energia no Brasil e demonstrar a finalidade, funcionalidade dos conceitos das *Smart Grids* em um cenário urbano contando com a melhor automação de redes e também integração de energias renováveis, mobilidade elétrica e iluminação pública eficaz. (PROJETOS... 2017)

3.6 SÃO PAULO

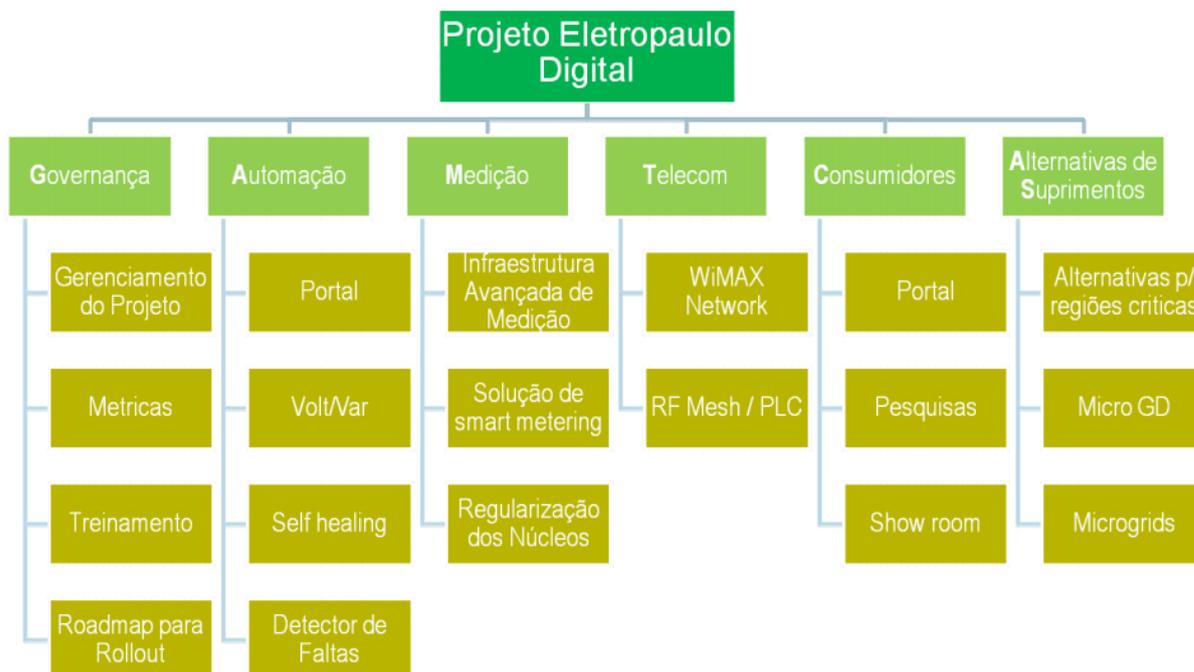
Lideradas por duas grandes concessionárias de energia elétrica, São Paulo também contém dois grandes projetos, sendo eles: “Programa *Smart Grid* – Projeto Eletropaulo Digital”, ilustrado nas Figuras 23 e 24, tendo como responsável a Empresa AES Eletropaulo, que foi a primeira distribuidora de energia do país a ter medidores inteligentes homologados pelo INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia), estão sendo fabricados no Brasil com comunicação híbrida, que consiste em que o próprio equipamento seleciona a melhor forma de interface para o momento: sem fio – por meio de rádio frequência – e com fio – por meio da rede elétrica (PLC). A previsão é que até 2018, 60 mil clientes do município de Barueri estejam utilizando a *Smart Grid*.

Figura 23: Projeto Eletropaulo Digital



Fonte: (VELLANO, 2013)

Figura 24: Atividades do Projeto Eletropaulo Digital



Fonte: (VELLANO, 2013)

Já o outro projeto é o InovCity, ilustrado na Figura 25, liderado pela empresa EDP Bandeirante em parceria com a secretaria de Energia de São Paulo e a Prefeitura de Aparecida (SP). O projeto visa transformar a cidade de Aparecida, localizada no Vale do Paraíba, com soluções inovadoras de mobilidade elétrica, eficiência energética, com várias áreas de desenvolvimento como mostrado na figura 23 e entre outros. Vale ressaltar que o projeto utiliza a tecnologia *Smart Grid* e conhecimentos sobre a inovação no desenvolvimento educacional de adolescentes da rede pública de ensino.

Figura 25: Áreas de Desenvolvimento - InovCity



Fonte: (MARTINS, 2013)

3.7 PARANÁ

A Copel Distribuição é responsável pelo projeto “Paraná *Smart Grid*”, estabelecendo um piloto em Curitiba com finalidade de demonstrar os conceitos da tecnologia e utilizá-los em aplicações futuras, em micro geração de energia, acumulação de energia e automação residencial.

3.8 A INICIATIVA DE APLICAÇÃO NO BRASIL

A APTEL (Associação de Empresas Proprietárias de Infraestrutura e de Sistemas Privados de Telecomunicações) vem trabalhando com o governo em ensaios de portadores de linha de banda estreita com foco social e educacional.

Várias empresas também estão gerenciando pilotos de rede inteligente, incluindo a Enel, uma distribuidora de energia no estado do Rio de Janeiro e Ceará, que vem implantando medidores inteligentes e redes seguras para reduzir as perdas de conexões ilegais; a AES Eletropaulo, distribuidora do Estado de São Paulo, desenvolveu um plano de negócios de *Smart Grid* usando o *backbone* de fibra óptica existente. A CEMIG iniciou um projeto de *Smart Grid* baseado na arquitetura do sistema desenvolvido pelo Consórcio IntelliGrid, uma iniciativa do *Electric Power Research Institute* (Instituto de Pesquisa de Energia Elétrica), com sede na Califórnia.

4 CONCLUSÕES

O consumo de energia no Brasil e no Mundo tem crescido mais que sua produção em grande escala. Acrescenta-se a tudo isso, a obsolescência dos sistemas de transmissão, distribuição, controle, proteção e medição. O panorama da evolução tecnológica cresce a passos largos, donde surge a tecnologia de *Smart Grid*, que pode solucionar esses problemas.

Situações como tecnologias de geração distribuída, doméstica, carros elétricos vêm somar-se a compor essa nova tecnologia, pois as redes inteligentes apresentam atributos vantajosos como controlar os sistemas de transmissão e distribuição transparentes e controláveis, a integração de fontes de energia renovável, armazenamento de energia, medição inteligente, fluxo de potência bidirecional além de capacidade para resposta e controle de demanda. Estes foram os benefícios verificados nos projetos estudados.

Acrescente-se ainda aos benefícios, maior eficiência e segurança na transmissão de energia, maior confiabilidade na detecção e identificação de falhas para manutenções, redução de operações e custos, interação cliente-fornecedor, e controle na demanda de pico.

Quanto aos aspectos de implantação, observaram-se dificuldades em aplicar-se a tecnologia *Smart Grid* devido à sua grande complexidade; à falta de legislação adequada, em que pese os inúmeros estudos de algumas características regionais como os tipos de geração de energia disponíveis; as demandas atuais e futuras; condições de conservação das redes de transmissão e distribuição existentes e planejadas; regulamentação e estrutura de mercado; capacidade de interconexão com as regiões vizinhas; condições climáticas e disponibilidade de recursos.

Devido à imensa gama de recursos disponibilizados no Brasil, ter uma *Smart Grid* como principal tecnologia seria ideal para melhor aproveitamento e distribuição da energia elétrica. Isto contribuiria para o avanço social e tecnológico do país devido à redução de custos e maior controle e acessibilidade de uma das principais necessidades básicas da sociedade.

4.1 TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho considerou os principais tópicos acerca do assunto para melhor difundir o uso dessas tecnologias no Brasil, que, apesar de suas implantações serem de caráter urgente, estão sendo aplicadas a nível experimental. Além de evidenciar, em análise comparativa, a superioridade da instalação de tecnologias de *Smart Grid* em relação à rede atual, que se tornará obsoleta num futuro próximo.

Para trabalhos futuros, recomenda-se realizar estudos detalhados sobre a viabilidade de implantação da tecnologia, incluindo investimentos iniciais, custos para manter a operação e prazos de retorno dos investimentos. Bem como criar uma interface de cliente intuitiva com o objetivo de atender as necessidades das diversas faixas etárias e graus de instrução.

Do ponto de vista técnico, notou-se que os medidores inteligentes são parte vital de todo o sistema. Portanto, é necessário um estudo minucioso e criterioso da sua implementação e funcionamento para que o sistema *Smart Grid* tenha o retorno esperado.

Outro ponto importante a ser considerado é aprofundar-se nos prós e contras referentes ao impacto ambiental resultante da implementação do sistema, como o descarte do sistema obsoleto, redução de perda energética e aumento de eficiência do sistema de geração.

Considerando-se os pontos acima, é necessário realizar o planejamento para a implantação da tecnologia *Smart Grid* no sistema de geração, transmissão e gerenciamento da distribuição da energia elétrica no Brasil.

REFERÊNCIAS

BUEVICH, Maxim et al. **Short Paper: Microgrid Losses: When the Whole is Greater Than the Sum of Its Parts**: Proceedings of the 2Nd ACM International Conference on Embedded Systems for Energy-Efficient Built Environments. 2015. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/2821650.2821676>>. Acesso em: 10 out. 2017.

ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. Lei Pública nº 110-140, de 19 de dezembro de 2007. **One Hundred Tenth Congress Of The United States Of America**. Seção 13, p. 292-293. Disponível em: <<https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-energy-independence-and-security-act>>. Acesso em: 24 set. 2017.

INOVCITY. Disponível em: <http://www.edp.com.br/instituto-edp/conheca-o-instituto-edp/inovacao_social/inovcity/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 12 out. 2017.

HOTAKAINEN, Markus; KLIMSTRA, Jacob; OY, Wärtsilä Finland. **Smart Power Generation: The Future of Electricity Production**. Vaasa: Avain Publishers, 2011. 196 p. Disponível em: <https://cdn.wartsila.com/docs/default-source/Power-Plants-documents/reference-documents/smart-power-generation/smart-power-generation-2013.pdf?sfvrsn=2761f145_2>. Acesso em: 12 out. 2017.

LOPES, Yona; FERNANDES, Natalia Castro; MUCHALUAT-SAADE, Débora Christina. Geração Distribuída de Energia: Desafios e Perspectivas em Redes de Comunicação. In: MINICURSOS DO XXXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE REDES DE COMPUTADORES E SISTEMAS DISTRIBUÍDOS, 33., 2015, Niterói. **Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos**. Niterói: SBRC, 2015. p. 325 - 380. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/303718713_Geracao_Distribuida_de_Energia_Desafios_e_Perspectivas_em_Redde_de_Comunicacao>. Acesso em: 27 nov. 2017.

MAHLANEN, Timo. **Elering Emergency Reserve Power**. 2011. Disponível em: <http://www.kaasuyhdistys.fi/sites/default/files/pdf/esitykset/20150521_neuvottelupai vat/Mahlanen.pdf>. Acesso em: 12 out. 2017.

MARTINS, João Brito. **Projeto InovCity**: Status de execução e principais aprendizados para o desenvolvimento futuro das Smart Grids no Brasil. 2013. Disponível em: <http://www.smartgrid.com.br/eventos/smartgrid2013/apresentacao/joao_brito_martins.pdf>. Acesso em: 12 out. 2017.

MORAES, Angelo Peloggia de; SIQUEIRA, Natan de Oliveira. **REDES ELÉTRICAS INTELIGENTES**. 2014. 54 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica e Eletrônica, Universidade de Taubaté, Taubaté, 2014.

PEDRETTI, André. **Projeto Paraná Smart Grid**. Disponível em: <[http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/0de05d87a1dab43483256bb8003b08ef/c2a8127318210af303257d400046a514/\\$FILE/22-08Parana_Smart_Grid_Copel_Conselho_de_Consumidores.pdf](http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/0de05d87a1dab43483256bb8003b08ef/c2a8127318210af303257d400046a514/$FILE/22-08Parana_Smart_Grid_Copel_Conselho_de_Consumidores.pdf)>. Acesso em: 12 out. 2017.

PELIELO, Gabriel; ACCÁCIO, Rafael; MOYSÉS, Rodrigo. **Smart Grid: Redes Inteligentes**. 2016. Disponível em: <https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel878/redes1-2016-1/16_1/smartgrid/>. Acesso em: 11 set. 2017.

PROJETOS Piloto no Brasil. 2017. Disponível em: <<http://redesinteligentesbrasil.org.br/projetos-piloto-brasil.html>>. Acesso em: 12 out. 2017.

REDES INTELIGENTES NA CEMIG - PROJETO CIDADES DO FUTURO. Disponível em: <http://www.cemig.com.br/pt-br/A_Cemig_e_o_Futuro/sustentabilidade/nossos_programas/Redes_Inteligentes/Paginas/as_redes_inteligentes_na_cemig.aspx>. Acesso em: 12 out. 2017.

REGO, Tarcilia. **Ceará desenvolve 'Primeira Cidade Inteligente Social do Mundo'; confira lançamento**. 2017. Disponível em: <<http://www.oestadoce.com.br/cadernos/oev/ceara-desenvolve-primeira-cidade-inteligente-social-do-mundo>>. Acesso em: 12 out. 2017.

REIS, Tiago. **Projeto Parintins ganha prêmio nacional**. 2014. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7B8D1AC2E8-F790-4B7E-8DDD-CAF4CDD2BC34%7D&Team=¶ms=itemID=%7B4DBE2739-882A-4F0F-9582-BF9918AC5B14%7D;&UIPartUID=%7BD90F22DB-05D4-4644-A8F2-FAD4803C8898%7D>>. Acesso em: 12 out. 2017.

SANTOS, Jamila Monteiro dos. **Avaliação Histórica do Planejamento Energético Brasileiro e Considerações Sobre a Introdução de Novas Tecnologias**. 2017. 110 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia de Energia, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2017.

SMART Grid: A Beginner's Guide. 2017. Disponível em: <<https://www.nist.gov/engineering-laboratory/smart-grid/about-smart-grid/smart-grid-beginners-guide>>. Acesso em: 10 set. 2017.

SMART Grid: AES Eletropaulo homologa medidor inteligente no INMETRO. 2016. Disponível em: <<http://www.convergenciadigital.com.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?UserActiveTempLate=site&infoid=43137&sid=3>>. Acesso em: 12 out. 2017.

TECHNOLOGY Roadmap: Smart Grids. Smart Grids. Paris: International Energy Agency, 2011. 52 p. Disponível em: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/smartgrids_roadmap.pdf>. Acesso em: 23 maio 2017.

VELLANO, Maria Tereza. **Programa Smart Grid da AES Eletropaulo: A Energia das Metrôpoles do Futuro**. 2013. Disponível em: <http://www.smartgrid.com.br/eventos/smartgrid2013/apresentacao/maria_tereza_travassos_vellano.pdf>. Acesso em: 12 out. 2017.

WHAT is the Smart Grid? Disponível em:

<https://www.smartgrid.gov/the_smart_grid/smart_grid.html>. Acesso em: 10 set. 2017.

YU, F. Richard et al. **Communication systems for grid integration of renewable energy resources.** 2011. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6033032/?arnumber=6033032>>. Acesso em: 10 out. 2017.